

Achillessehnenruptur: Die Analyse eines Gangparameters während der Rehabilitation

Autorin 1 : Davie, Céline

Autorin 2 : Martin, Soraya

Departement: Gesundheit
Institut für Physiotherapie

Studienjahr: PT18

Eingereicht am: 25.04.2021

Betreuungsperson: Dr. Eveline Graf

**Bachelorarbeit
Physiotherapie**

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Abstract | 5 |
| 1 Einleitung | 7 |
| 1.1 Problemstellung..... | 8 |
| 1.2 Zielsetzung..... | 9 |
| 1.3 Fragestellung..... | 9 |
| 2 Theoretischer Hintergrund | 9 |
| 2.1 Aufbau und Funktion der Sehne..... | 9 |
| 2.2 Wundheilung einer Sehne..... | 10 |
| 2.3 Achillessehne..... | 12 |
| 2.4 Therapie nach einer Achillessehnenruptur..... | 12 |
| 2.5 Gang..... | 14 |
| 2.5.1 Stand- und Schwungbeinphase..... | 14 |
| 2.5.2 Phase der Gewichtsübernahme..... | 14 |
| 2.5.3 Phase des Einbeinstandes..... | 15 |
| 2.5.4 Phase der Schwungbeinvorwärtsbewegung..... | 15 |
| 2.5.5 Schrittlänge..... | 17 |
| 2.5.6 Bodenreaktionskraft..... | 18 |
| 3 Methode | 19 |
| 3.1 Literaturrecherche..... | 20 |
| 3.2 Single Case Study..... | 21 |
| 3.2.1 Angaben zur Patientin und zum Procedere..... | 21 |
| 3.2.2 Datenerhebung..... | 23 |
| 3.2.3 Datenanalyse..... | 24 |
| 4 Ergebnisse der Literaturrecherche | 25 |
| 4.1 Studien..... | 25 |
| 4.2 Auswahl der Variable..... | 30 |
| 5 Ergebnisse der Single Case Study | 31 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5.1 | Frontalebene Fuss..... | 32 |
| 5.1.1 | Linkes Fussgelenk | 32 |
| 5.1.2 | Rechtes Fussgelenk..... | 33 |
| 5.1.3 | Vergleich zwischen dem linken und rechten Fussgelenk | 33 |
| 5.2 | Sagittalebene Fuss..... | 35 |
| 5.2.1 | Linkes Fussgelenk | 35 |
| 5.2.2 | Rechtes Fussgelenk..... | 36 |
| 5.2.3 | Vergleich zwischen dem linken und rechten Fussgelenk | 37 |
| 5.3 | Sagittalebene Knie | 38 |
| 5.3.1 | Linkes Kniegelenk | 38 |
| 5.3.2 | Rechtes Kniegelenk | 39 |
| 5.3.3 | Vergleich zwischen dem linken und rechten Kniegelenk..... | 40 |
| 6 | Diskussion | 40 |
| 6.1 | Interpretation der Ergebnisse | 40 |
| 6.1.1 | Frontalebene Fuss | 41 |
| 6.1.2 | Sagittalebene Fuss | 42 |
| 6.1.3 | Sagittalebene Knie | 44 |
| 6.1.4 | Beantwortung der Fragestellung | 46 |
| 6.2 | Transfer in die Physiotherapie | 53 |
| 6.3 | Limitationen | 54 |
| 6.3.1 | Methodische Limitation | 54 |
| 6.3.2 | Inhaltliche Limitation..... | 55 |
| 6.4 | Empfehlung für weiterführende Forschung..... | 55 |
| 6.5 | Fazit..... | 56 |
| | Literaturverzeichnis | 57 |
| | Abbildungsverzeichnis | 62 |
| | Tabellenverzeichnis | 63 |

| | |
|---|-----------|
| Abkürzungsverzeichnis | 64 |
| Wortzahl | 65 |
| Danksagung | 65 |
| Eigenständigkeitserklärung..... | 65 |
| Anhang | 66 |
| A Datenerhebung und Verarbeitung | 66 |
| B Resultate Studie | 67 |
| C Ergebnisse Frontalebene Fussgelenk | 68 |
| D Ergebnisse Sagittalebene Fussgelenk | 69 |
| E Ergebnisse Sagittalebene Kniegelenk | 71 |
| F Zeitplan | 73 |

Abstract

Hintergrund: Die Achillessehnenrupturen nehmen durch das erhöhte Aktivitätslevel zu. Eine Ruptur kann operativ oder konservativ behandelt werden. Der Outcome der beiden Behandlungsarten zeigt kurzfristig sowie langfristig ähnliche Resultate. Der Gang stellt einen der grössten Faktoren für eine nicht vollständige Genesung dar.

Ziel: Die vorliegende Studie untersucht die relevanteste Variable des Ganges nach einer Achillessehnenruptur und wie sich diese anhand einer Single Case Study während der Rehabilitation verändert.

Methode: Anhand einer Literaturrecherche werden die Variablen mit der grössten Relevanz nach einer Achillessehnenruptur festgelegt. Anschliessend werden die festgelegten Variablen anhand einer Single Case Study mit einer 48-jährigen Probandin untersucht. Es werden insgesamt fünf Ganganalysen durchgeführt. Die Ergebnisse werden deskriptiv ausgewertet und analysiert.

Ergebnisse: Eine erhöhte sowie auch eine verspätete maximale Dorsalextension kann beim linken Fuss in allen Ganganalysen festgestellt werden. Dieses auffallende Ergebnis hat Auswirkungen auf die anderen Variablen im Gang. Mögliche Ursachen für diese Abweichungen sind die Schwäche des M. Soleus beziehungsweise des M. triceps surae oder auch der 1cm-Keilabsatz.

Schlussfolgerung: Die Ganganalyse stellt ein wichtiger Bestandteil in der Physiotherapie dar. Durch die Analyse können Abweichungen festgestellt werden, welche für die weitere Behandlung von grosser Bedeutung sind

Schlüsselwörter: Achillessehnenruptur, konservative Behandlung, Ganganalyse, Rehabilitation

Background: Achilles tendon ruptures are on the rise due to increased activity levels. The rupture can be treated surgically or conservatively. Both treatments show similar short term as well as long term results and that gait is one of the biggest factors for an incomplete recovery.

Aim: The present study investigates the most relevant variable of the gait after an Achilles tendon rupture and how it evolves during rehabilitation.

Method: The variables with the greatest relevance after an Achilles tendon rupture are determined on the basis of a literature search. The variables were examined using a single case study with a 48-year-old female patient. A total of five gait analyses were performed, the result of which are evaluated and analysed descriptively.

Results: An increased as well as a delayed maximum dorsiflexion was found in the left foot in all gait analyses. This striking result has impact on the other variables in the gait. Possible causes for these deviations are the weakness of the triceps surae muscles or the 1 cm-wedge heel.

Conclusion: Gait analysis should be an important part of physiotherapy. The analysis can identify abnormalities, which are of great importance for further treatment.

Keywords: Achilles tendon rupture, conservative treatment, gait analysis, rehabilitation

1 Einleitung

Durch den höheren Aktivitätslevel der Menschheit gibt es einen Anstieg bei den zugezogenen Achillessehnenrupturen oder Teilrupturen. (Karaaslan et al., 2016) Pro Jahr ziehen sich 37 von 100'000 Menschen eine Achillessehnenruptur zu. (Ganestam et al., 2016; Lanetto et al., 2015; Raikin et al., 2013 zitiert in Zellers, Christensen, et al., 2019) In der Schweiz liegt die Zahl bei 30 auf 100'000 Menschen. Meist geschieht eine Ruptur im Alter von 35 bis 45 Jahren. (Krause, 2019) Zu einer Ruptur kommt es oft bei sportlichen Aktivitäten wie beispielsweise Fussball, Volleyball oder Squash. Männer ziehen sich öfters eine Ruptur zu. (Ganestam et al., 2016; Karaaslan et al., 2016) Der typische Unfallmechanismus besteht aus einer indirekten Zugeinwirkung auf die Sehne. Hierbei befindet sich der kontrahierte Muskel in einer exzentrischen Dehnung. (Krause, 2019)

Viele der Patientinnen und Patienten hatten vor dem Trauma keine Beschwerden mit der Achillessehne. Man stellte jedoch oft eine degenerative Veränderung in der Sehne fest. (Bury & Pool, 1973; Hoffmann et al., 2011 zitiert in Lemme et al., 2018) Man geht davon aus, dass es durch das Training und den Wettkampfsport zu repetitiven Mikrotraumaten führt, welche zu einer Veränderung der Struktur führen kann. (Thermann et al., 2000) Des Weiteren wurde eine Assoziation zwischen der Achillessehnenruptur und einer längeren Einnahme von Steroiden, Immunsuppressiva, Autoimmunerkrankungen, Hypercholesterinämie oder der Blutgruppe 0 festgestellt. (Krause, 2019) Durch die Einnahme von Cortison kommt es zu einer Veränderung der Grundsubstanz der Sehnenzellen und die repetitiven reaktiven Vorgänge der Sehne findet man nicht vor. (Krahl & Langhoff, 1971 zitiert in Thermann et al., (2000)

Eine Ruptur der Achillessehne kann operativ oder konservativ behandelt werden. Die physiotherapeutischen Nachbehandlungsschematas unterscheiden sich nicht stark. Die Rehabilitation der Achillessehne ist ein langsamer Prozess, bei der die Wundheilung länger als drei Monate dauern kann. (Karaaslan et al., 2016) Im theoretischen Hintergrund unter dem folgenden Kapitel 2.4 wird näher auf die Behandlungsschematas eingegangen.

Ein Grossteil der Patientinnen und Patienten berichten über gute Langzeiterfolge, jedoch leiden trotzdem viele betroffene Personen Jahre nach der Achillessehnenruptur an schwachen Symptomen. (Costa et al., 2005) Ein wesentlicher Faktor für eine nicht vollständige Genesung ist die Gangstörung. (Krueger-Franke et al., 1995, zitiert in Costa et al., 2005) Die Ursache der Gangstörung ist oft nicht klar ersichtlich und das Assessment «Ganganalyse» stellt einen komplexen Prozess dar. (Mc Comis et al., 1997; Maffulli, 1999, zitiert in Costa et al., 2005)

1.1 Problemstellung

Die optimale Rehabilitation der Achillessehne ist in der Literatur Teil einer andauernden Debatte. Man hat bis jetzt noch keinen Goldstandard gefunden. Es ist unklar, ob die operative oder die konservative Behandlung einen besseren Outcome für den Patienten herbeiführt. (Karaaslan et al., 2016)

Die operative, sowie auch die konservative Behandlung zeigt kurzfristig und langfristig gleiche Resultate. Früher hat man bei jüngeren und sportlichen Personen eine operative Behandlung bevorzugt, da die konservative Behandlung eine höhere Reruptur-Rate sowie einen Kraftverlust aufwies. Es wurde erkannt, dass mit der Belastung des Fusses während der Rehabilitation bei einer konservativen Behandlung eine ähnliche Reruptur-Rate erzielt wird, wie bei einer operativen Behandlung. Bei der operativen Behandlung bestehen die üblichen Operationsrisiken, wie zum Beispiel Infektionen, das Abstossungen von Materialien oder Entzündungen. (Manent et al., 2019)

Laut Zellers, Christensen et al. (2019) liegt für eine optimale Behandlung der Fokus momentan vermehrt auf den funktionellen Behandlungserfolgen. Es ist von grosser Bedeutung, dass man innerhalb eines Jahres von einer Achillessehnenruptur rehabilitiert, um weitere nachfolgende Einschränkungen zu verhindern. Karaaslan et al. (2016) stellen fest, dass der Gang einer der grössten Faktoren für eine nicht vollständige Genesung darstellt. Die physiotherapeutische Intervention setzt an diesem Punkt an. Das Ziel in der Physiotherapie ist es, die Patientin oder den Patienten ihrer Alltagsfähigkeiten, wie beispielsweise dem Gang zu befähigen. Aus physiotherapeutischer Sicht sind Muskelschwächen, Range-of-Motion-Einschränkungen oder

Schmerzen mögliche Ursachen für ein inkorrektes Gangbild. Dies hat wiederum einen Einfluss auf diverse Gangparameter, wie beispielsweise auf die Bodenreaktionskraft, die Schrittlänge oder die Gelenkwinkel. Stimmen diese Parameter in einer gewissen Weise nicht mit der Norm überein, kann es zu weiterfolgenden Verletzungen führen. Zum Beispiel fanden Zellers, Christensen et al. (2019) heraus, dass biomechanische Asymmetrien, während dem Rennen zu weiterführenden Verletzungen im Patellofemoralgelenk führen können.

1.2 Zielsetzung

Das Erarbeiten eines korrekten Gangbildes in der Rehabilitation nach einer Achillessehnenruptur ist massgebend, da man somit weiteren Verletzungen vorbeugen kann. Von hoher Bedeutung ist es, dass die Physiotherapie ein korrektes von einem asymmetrischen Gangbild unterscheiden kann und die Therapie patientenorientiert gestaltet. Dadurch ist das Ziel dieser Arbeit, die relevanteste Variable des Ganges nach einer Achillessehnenruptur zu finden und anhand einer Single Case Study zu untersuchen, inwiefern sich diese in der Rehabilitation verändert.

1.3 Fragestellung

Welche Variable der Ganganalyse ist relevant für das Gehen nach einer Achillessehnenruptur und inwiefern verändert sich diese in der Rehabilitation?

2 Theoretischer Hintergrund

In diesem Kapitel wird der genaue Aufbau der Achillessehne erklärt, wie es zu einer Ruptur der Sehne kommen kann und wie das Behandlungsschema nach einer Ruptur aussieht. Des Weiteren werden gewisse Aspekte der Ganganalyse genauer thematisiert.

2.1 Aufbau und Funktion der Sehne

Die Aufgabe der Sehne besteht darin, die Aktivitäten des Muskels auf den Knochen zu übertragen. Um dies besser nachzuvollziehen, ist es wichtig, den Aufbau der Sehne zu kennen.

Mikroskopisch betrachtet ist die kleinste Einheit einer Sehne das Tropokollagen. Dieses ist von spiralförmig angelegten Mikrofibrillen umschlossen, gefolgt von Subfibrillen und Fibrillen. In dieser Schicht befindet sich ein Teil der Nerven und Gefässe. Mehrere solche Bündel zusammen werden Faszikel oder auch Endotenon genannt. Um den Faszikel befindet sich eine weitere Bindegewebsschicht, welche Peritenon internis genannt wird und Nerven und Gefässe enthält. Danach folgt das Paratenon, welches gleich aufgebaut ist wie die Peritenon internis. Zum Schluss kommt das Peritenon externis. Die Zellen in dieser Schicht bilden eine Art von Synovialflüssigkeit, die für eine reibungslose Beweglichkeit sorgt. Eine Sehne mit einer erhöhten Druckbelastung, wie zum Beispiel die Achillessehne, ist trotz eigenem Gefässsystem schlecht durchblutet. (van den Berg & Cabri, 2016)

Das äussere Erscheinungsbild der Sehne erinnert an ein Seil oder an ein Kabel. Auf makroskopischer Ebene besteht die Sehne aus parallelverlaufenden Kollagenfasern des Typ 1. Sie verlaufen vom Knochen-Sehnen-Übergang zum Muskelbauch. Der Verlauf der Fasern ist wellenförmig. Zusätzlich sind die einzelnen Fasern spiralförmig angeordnet. Dadurch wird gewährleistet, dass die Sehne eine stark einwirkende Belastung abfangen kann. Des Weiteren besitzt die Sehne elastische Fasern, welche die einwirkende Belastung absorbieren sollen. (Riley, 2004, zitiert in van den Berg & Cabri, 2016)

2.2 Wundheilung einer Sehne

Die Wundheilung kann in eine intrinsische und eine extrinsische Heilung eingeteilt werden. Die Grösse und die Lokalisation einer Verletzung gibt vor, welcher Heilungsprozess in Gang gesetzt wird. Bei einer grossen Verletzung, wie beispielsweise der Achillessehnenruptur, setzt die extrinsische Heilung vor der intrinsischen Heilung ein. (van den Berg & Cabri, 2016)

Bei der extrinsischen Heilung beteiligt sich das umliegende Gewebe, wie zum Beispiel das Periost, die Faszien, die Knochen und die Subkutis. Insgesamt kann die Wundheilung in drei Phasen eingeteilt werden. Die erste Phase der Wundheilung ist die Entzündungsphase. Sie dauert meist drei bis fünf Tage an. Die Wundheilung wird vom umliegenden Gewebe eingeleitet, sodass durch die Verletzung ein Hämatom

entsteht. Dies ermöglicht das Einwandern von Mastzellen, Makrophagen und Leukozyten in das Verletzungsgebiet, um Entzündungsmediatoren zu produzieren. Die Sehne ist dabei auf das umliegende Gewebe angewiesen und produziert einen Teil der Zellen selbst im Epitenon. Die Entzündungsphase kann negativ von anabolen Steroiden beeinflusst werden. (Leumann & Iselin, 2015; Twiss, o. J.; van den Berg & Cabri, 2016)

Die zweite Phase nennt sich Proliferationsphase. Die Phase beginnt meist am fünften Tag nach der Verletzung und dauert durchschnittlich vier Wochen an. Die Fibroblasten beginnen Kollagen des Typ 3 zu produzieren. Die Aufgabe des Kollagens Typ 3 besteht darin, die Wunde schnellstmöglich zu schliessen. Es entsteht ein provisorisches Gerüst aus neuem Gewebe. In dieser Zeit ist es wichtig, dass die Sehne physiologische Belastungsreize erhält, durch welche sich das neue Gewebe korrekt ausrichten kann. Dabei muss auf die Dosierung geachtet werden, da das Gewebe zu diesem Zeitpunkt sehr empfindlich ist und es daher schnell zu neuen Verletzungen kommen kann. (van den Berg & Cabri, 2016) Beschleunigungen und Scherkräfte sind in der Proliferationsphase eine zu hohe Belastung für das Gewebe. (Koller, 2019) Beispiele für leichte physiologische Belastungsreize sind die Teilbelastung oder eine angepasste Mobilisation des betroffenen Gelenkes. Welche Massnahmen schliesslich in der physiotherapeutischen Behandlung umgesetzt werden, evaluiert man anhand des subjektiven und objektiven Befundes.

Die dritte Phase namens Remodulierungsphase setzt circa nach der vierten Woche ein. Durch die Zugbelastung wird das Gewebe angeregt, das Kollagen Typ 3 in das Kollagen Typ 1 umzuwandeln. Das Gewebe erhält dadurch eine höhere Belastbarkeit. (Leumann & Iselin, 2015; van den Berg & Cabri, 2016) Die Remodulierungsphase kann bis zu einem Jahr dauern. (Twiss, o. J.; van den Berg & Cabri, 2016)

Beim intrinsischen Heilungsprozess versucht das Sehnengewebe selbst die Wundheilung durchzuführen. Dieser Heilungsprozess wird bei kleineren Verletzungen in Gang gesetzt. Die länger andauernde intrinsische Heilung lässt sich durch die fehlende Entzündungsphase erklären. Die wenig freigesetzten Entzündungsmediatoren entstehen durch die Fibroblasten im Epitenon und im Endotenon. Das Epitenon sorgt

dafür, dass die Wunde mit dem Kollagen Typ 3 geschlossen wird. Nach circa zwölf Wochen kann das Kollagen Typ 3 in Kollagen Typ 1 synthetisiert werden. (van den Berg & Cabri, 2016)

2.3 Achillessehne

Die Achillessehne ist die Ansatzsehne des M. triceps surae. Der Ansatz befindet sich am Tuber calcanei. Der M. triceps surae besteht aus den beiden Muskelköpfen des M. gastrocnemius und des M. soleus. Wobei der Ursprung des M. gastrocnemius am Epicondylus lateralis und Epicondylus medialis femoris liegt. Der Ursprung des M. soleus ist an der Dorsalseite des Caput und Collum fibulae. Die Funktion des M. triceps surae ist eine Plantarflexion im oberen Sprunggelenk, eine Inversion im unteren Sprunggelenk und eine Flexion im Kniegelenk.

Insgesamt besitzt die Achillessehne eine Länge von 20 bis 25 cm. Die mittlere Querschnittsfläche beträgt zwischen 70 und 80 mm² und sie besitzt eine Reißfestigkeit von 60 bis 100 N/mm². Aus diesem Grund geht man davon aus, dass eine Spontanruptur in der Regel nur möglich ist, wenn es davor pathologische Veränderungen gegeben hat. Diese Veränderungen entstehen beispielsweise durch regelmässige Fehl- oder Überbelastungen. Eine Überbelastung entsteht, wenn die Sehne mehr als vier Prozent verlängert wird. Dadurch entstehen vermehrt Mikrotraumen. Diese führen zu einer verminderten Blutzirkulation, welche eine Degeneration der Sehne zur Folge hat. Ab einer Verlängerung von acht bis zwölf Prozent kommt es zu einer Totalruptur. (Schünke et al., 2014; van den Berg & Cabri, 2016) Zwei bis sechs Zentimeter proximal des Tuber Calcanei ist die Achillessehne am schlechtesten durchblutet, somit kommt es bei Mikrotraumen in diesem Abschnitt zu drastischen Folgen. Demnach erfolgen die meisten Rupturen in diesem Sehnenabschnitt. (Schünke et al., 2014)

2.4 Therapie nach einer Achillessehnenruptur

Eine Achillessehnenruptur kann konservativ, wie auch operativ behandelt werden. Aufgrund guter Ergebnisse der konservativen Behandlung werden Patientinnen und Patienten immer seltener operativ behandelt. (Kirschak, 2009) In beiden Fällen wird der Fuss in einer Spitzfussstellung ruhiggestellt. Dadurch kommt es zu einer Annähe-

rung der Sehnenenden, welche die Wundheilung begünstigen soll. Mögliche Orthesen für eine Ruhigstellung sind der VACOped, der Künzli Achillesschuh Ortho Rehab Total, der Künzli Achillesschuh Ortho Rehab Absolut oder der Walker. (Centmaier-Molnar & Boger, 2019; Leppilahti, 2019)

Eine konservative Behandlung kann durchgeführt werden, wenn die Rissenden nicht mehr als fünf bis sechs Millimeter auseinander liegen. Der betroffene Fuss wird für acht bis zwölf Wochen ruhiggestellt. Die ersten sechs Wochen befindet sich der Fuss meist in 30 Grad Plantarflexion. Danach erfolgt alle zwei Wochen eine Reduktion der Plantarflexion. Die Physiotherapie erfolgt meist ab der vierten Woche. Hierbei liegt der Fokus auf abschwellenden Massnahmen. Nach vier bis sechs Wochen wird die Belastungssteigerung, wie auch die Gelenkmobilisation thematisiert. (Centmaier-Molnar & Boger, 2019)

Sind die Rissenden mehr als fünf bis sechs Millimeter auseinander, wird eine Operation empfohlen. (Centmaier-Molnar & Boger, 2019) Die sportliche Aktivität, das Alter und die Rerupturrate sind Faktoren, welche entscheiden, ob ein operativer Eingriff stattfindet soll. (Leppilahti, 2019; Plesch et al., 2009) Auch bei der operativen Behandlung wird der Fuss zuerst in 30° Plantarflexion für sechs Wochen ruhiggestellt. Ab der siebten Woche erfolgt alle zwei Wochen eine Reduktion der Plantarflexion. Auch bei diesem Behandlungsschema werden nach vier bis sechs Wochen die Belastungssteigerung und die Gelenkmobilisation die Hauptthemen der Therapie sein. Die Achillessehne ist nach operativer wie auch nach konservativer Therapie nach circa vier Monaten wieder sportlich belastbar. Trainieren auf Wettkampfniveau wird jedoch erst nach sechs Monaten empfohlen. (Centmaier-Molnar & Boger, 2019)

2.5 Gang

In der Single Case Study, die später analysiert wird, wurden Daten zur Schrittlänge, zur Bodenreaktionskraft und zur Beweglichkeit in den Gelenken erhoben. Aus diesem Grund liegt auch in der Theorie der Fokus auf diesen drei Punkten. Die Muskelfunktion wird vernachlässigt. Bei der Beweglichkeit wird genauer auf den Fuss und das Knie eingegangen, da der M. triceps surae an diesen beiden Gelenken ansetzt. In der Tabelle 1 sind die verschiedenen Gangphasen und die entsprechenden Gelenkwinkel zusammengefasst. Ebenfalls kann in dieser Tabelle erkannt werden, in welcher Phase das absolute Minimum oder Maximum der Gelenkwinkel auftritt.

2.5.1 Stand- und Schwungbeinphase

Der Gang kann in verschiedene Phasen unterteilt werden. Grob unterscheidet man zwischen der Standbein- und der Schwungbeinphase. Beim Gehen befindet sich jedes Bein abwechselnd in einer der beiden Phasen. Die Standbeinphase beginnt mit dem Fersenkontakt und endet mit dem Ablösen der Zehen. Die Schwungbeinphase beginnt, sobald die Zehen den Boden nicht mehr berühren und endet mit dem Fersenkontakt. Die Standbeinphase macht 60% und die Schwungbeinphase 40% des Gangzyklus aus. (Schünke et al., 2014) Die beiden Phasen besitzen jeweils Untergruppen, die nachfolgend genauer erklärt werden.

2.5.2 Phase der Gewichtsübernahme

Die Phase besteht aus dem Initial contact und dem Loading response. Diese Phase macht 0-12% des Gangzyklus aus. Beim Initial contact kommt die Ferse in Kontakt mit dem Boden und es entsteht eine Bodenreaktionskraft. Hierbei nimmt das obere Sprunggelenk eine Neutral-Null-Stellung ein. Das Subtalargelenk, dies ist ein Teil des unteren Sprunggelenkes, befindet sich ebenfalls in einer Neutral-Null-Stellung oder ist eventuell schon in einer leichten Inversion. Das Knie sollte sich in einer stabilen Position von 5° Flexion befinden. Darauf folgt der Loading response. Es entsteht eine Gewichtsverlagerung und der Aufprall wird vom Standbein abgefedert. Das Kniegelenk in 15° Flexion ist der wichtigste Stossdämpfer. Das obere Sprunggelenk muss eine Plantarflexion von 5° gewährleisten können, damit der Fuss vollständig auf dem Boden abgesetzt werden kann. Das Subtalargelenk befindet sich in 5° Eversion. (Götz-Neumann, 2016)

2.5.3 Phase des Einbeinstandes

Die Phase des Einbeinstandes bilden der Midstance und der Terminal stance. Im Einbeinstand lastet das gesamte Körpergewicht auf einem Bein. Beim Midstance muss eine dynamische Stabilität im Knie- wie auch im Fussgelenk gewährleistet sein. Es kommt zu einer kontrollierten Vorwärtsbewegung des Körpers. Im Knie herrscht eine Flexion von 5° und das obere Sprunggelenk kommt in eine Dorsalextension von 5° . Im Subtalargelenk wird die Eversion reduziert. Der Midstance macht 12-31% des Gangzyklus aus. Auf den Midstance folgt der Terminal stance. In diesem befindet sich das Bein zwischen 31-50% des Gangzyklus. Der gesamte Körper wird nach vorne gebracht. Dadurch verschiebt sich der Körperschwerpunkt und die Ferse wird angehoben. Es muss eine kontrollierte Dorsalextension im oberen Sprunggelenk von 10° möglich sein. Im Subtalargelenk wird die Eversion weiter bis auf 2° reduziert. Durch die Reduktion der Eversion kommt es zu einer besseren intertarsalen Gelenkstabilität. Das Knie befindet sich in 5° Flexion. (Götz-Neumann, 2016)

2.5.4 Phase der Schwungbeinvorwärtsbewegung

In der Phase der Schwungbeinvorwärtsbewegung befinden sich der Pre-swing, der Initial swing, der Mid swing und der Terminal swing. Im Pre-swing wird das Bein entlastet und das Gewicht auf das kontralaterale Bein übertragen. Zu diesem Zeitpunkt befindet sich das Bein zwischen 50% bis 62% des Gangzyklus. Es kommt zu einer starken Flexion im Knie von 40° . Die Zehen haben in diesem Moment noch Bodenkontakt. Im oberen Sprunggelenk besteht eine Plantarflexion von 15° . Das Subtalargelenk befindet sich in einer Neutral-Null-Stellung. Im Initial swing wird der Fuss vom Boden angehoben, damit das Bein nach vorne transportiert werden kann. Der Initial swing macht 62% bis 75% des Gangzyklus aus. Das Sprunggelenk befindet sich noch in 5° Plantarflexion, das Subtalargelenk weiterhin in einer Neutral-Null-Stellung und das Kniegelenk in 60° Flexion. Anschliessend folgt der Mid swing. In diesem Moment ist das Bein zwischen 75% bis 87% des Gangzyklus. Das Kniegelenk wird langsam gestreckt und befindet sich in 25° Flexion. Der Fuss ist weiterhin angehoben. Der Abstand zum Boden hängt vom Hüft-, Knie- und Sprunggelenk ab. Dabei sind das obere Sprunggelenk und das Subtalargelenk idealerweise in einer Neutral-Null-Stellung. Das Ende der Schwungbeinvorwärtsbewegung erfolgt im Terminal swing und macht somit 87% bis 100% des Gangzyklus aus. Es ist der Übergang von der

Schwungbeinphase in die Standphase. Das Kniegelenk nähert sich der Neutral-Null-Stellung an und das Sprunggelenk bleibt weiterhin in der Neutral-Null-Stellung. Das Subtalgelenk kann sich in einer Neutral-Null-Stellung oder in einer leichten Inversion befinden. (Götz-Neumann, 2016)

Tabelle 1: Zusammenfassung der Gangphasen mit den entsprechenden Winkel des Fuss- und Kniegelenkes.

| Gangphase | Eversion und Inversion | OSG DE/PF | KG Flex/Ext |
|---------------------------|---------------------------|-----------|-------------|
| 0% Initial contact | 0° - Inversion | 0° | 5° Flex |
| 0-12% Loading response | 5° Eversion | 5° PF | 15° Flex |
| 12-31% Mid stance | Reduktion Eversion | 5° DE | 5° Flex |
| 31-50% Terminal stance | Reduktion Eversion auf 2° | 10° DE | 5° Flex |
| 50-62% Pre-swing | 0° | 15° PF | 40° Flex |
| 62-75% Initial swing | 0° | 5° PF | 60° Flex |
| 75-87% Mid-swing | 0° | 0° | 25° Flex |
| 87-100% Terminal swing | 0° bis Inversion | 0° | 0-5° Flex |

Blau= absolute Minimum
Orange= absolute Maximum

Quelle: Eigene Darstellung

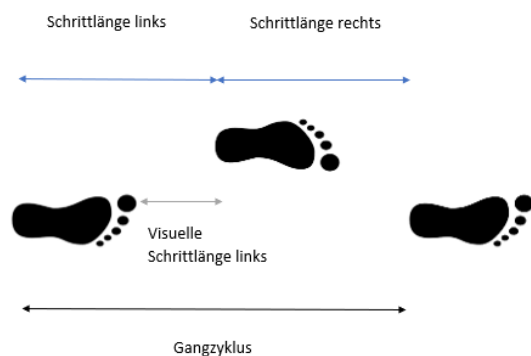
2.5.5 Schrittlänge

Die Unterkapitel 2.5.1 bis 2.5.4 beschreiben einen vollständigen Gangzyklus. Während diesem Zyklus kann die Schrittlänge beobachtet oder durch Sensoren gemessen werden. Die Messung wird mithilfe der Abbildung 1 erklärt. Der Startwert ist immer der Initial contact. In diesem Fall ist der Startwert der Initial contact des rechten Beines. Dieses durchläuft nach dem Initial contact die Phase der Gewichtsübernahme und die Phase des Standbeines. Am Ende des Terminal stance des rechten Beines führt das kontralaterale Bein den Initial contact durch. Die Strecke vom Initial contact des rechten Beines bis zum Initial contact des linken Beines wird als Schrittlänge bezeichnet. Die Schrittlänge bezieht sich immer auf das Bein, welches sich nach der Schwungbeinphase im Initial contact befindet. Im beschriebenen Beispiel wurde die Schrittlänge links gemessen. (Götz-Neumann, 2016)

Bei der visuellen Beurteilung der Schrittlänge ist der Moment, in dem sich beispielsweise das rechte Bein im Terminal stance und das linke Bein im Initial contact befindet, essenziell. Man misst den Abstand von den rechten Zehen bis zur linken Ferse. Die visuell beurteilte Schrittlänge beträgt circa zwei bis drei Fusslängen und wird normalerweise von der Seite beurteilt. (Schünke et al., 2014; Suppé et al., 2014)

Die Schrittlänge unterscheidet sich von Mensch zu Mensch und ist abhängig von der Beinlänge, der Körpergrösse und der Gehgeschwindigkeit. Normalerweise ist die Schrittlänge beider Beine gleich gross. Ist dies nicht gegeben, bezeichnet man dies als Hinkmechanismus. (Götz-Neumann, 2016)

Abbildung 1: Messung einer Schrittlänge



Quelle: Eigene Darstellung

2.5.6 Bodenreaktionskraft

Anhand der Bodenreaktionskraft kann die funktionelle Belastung an den Gelenken während eines Bewegungsablaufs berechnet werden. Damit eine Messung erfolgen kann, sind eine Kraftmessplatte, ein Bewegungsanalysesystem und personenspezifische Daten (Körpergrösse, Gewicht, Beinsegmentlänge und -umfang) notwendig. Daten werden erfasst, indem eine Person eine kurze Gehstrecke zurücklegt. Dabei wird eine versteckte Kraftmessplatte überquert. Sobald das Standbein in Kontakt mit der Kraftmessplatte kommt, wird die vertikale (Z-Achse), die vor- und zurückgerichtete (Y-Achse) sowie die medial-laterale Bodenreaktionskraft (X-Achse) gemessen. (Götz-Neumann, 2016)

Abbildung 2: Verlauf der Bodenreaktionskraft bei einer gesunden Person

Aus urheberrechtlichen Gründen ist diese Abbildung nicht im öffentlich zugänglichen Werk vorhanden

Quelle: Schrödel (2008)

Die Vertikalkraft F_z wird wie die Gewichtskraft durch die Formel $F(\text{Kraft})=m(\text{Masse}) \cdot a$ (Beschleunigung) berechnet. Im Ruhezustand entspricht die Vertikalkraft dem Körpergewicht. In den Studien die später analysiert werden, wird die Kraft am Körpergewicht normiert. Das heisst 0% entspricht 0% des Körpergewichts und 100% sind das volle Körpergewicht der Testperson. Diese Normierung wird durchgeführt, damit die Probandinnen und Probanden verglichen werden können. (Heilmann, 2015) Bei der Ganganalyse von gesunden Personen können zwei Höhepunkte der Vertikalkraft aufgezeigt werden, die in der Abbildung 2 als blaue Kurve ersichtlich sind. Der erste Höhepunkt entsteht beim Initial contact und der zweite Höhepunkt beim Terminal stance. Bei der Horizontalkraft F_y wird der Fokus ebenfalls auf den Initial contact und den Terminal stance gelegt. Beim Initial contact ist die Bewegungstendenz nach vorne gerichtet, wodurch die Horizontalkraft in die Gegenrichtung wirkt. Dies hat einen bremsenden Effekt zur Folge. Beim Terminal stance wird der Fuss vom Boden abgestossen. Die Bewegungstendenz ist dadurch rückwärts gerichtet. Die Horizontalkraft wirkt anschiebend in Gangrichtung und in dieser Phase kann es zur Beschleunigung der Bewegung führen. Die Horizontalkraftkomponente F_x liegt quer zur Bewegungsrichtung. Sie ist bei einem stabilen Gang sehr klein. Dies kann sich je-

doch bei einem schwankenden Gang beispielsweise bei einem Hinken verändern. In-
dem die Bewegungstendenz nach lateral gerichtet ist, wirkt F_x meistens nach medial.
(Heimbert Dittrich et al., 2019; Schrödel, 2008)

3 Methode

In diesem Kapitel wird die methodische Vorgehensweise dieser Arbeit genauer er-
klärt, mit welcher die Fragestellung beantwortet wird. Diese Arbeit ist Teil eines For-
schungsprojektes. Als erstes findet eine Literaturrecherche statt. Die gefundene Lite-
ratur wird grob kritisch beurteilt anhand des Evaluationsinstrumentes AICA. (Ris &
Preusse-Bleuler, 2015) Anhand der Literaturrecherche wird eine relevante Variable
der Ganganalyse für das Gehen nach einer Achillessehnenruptur definiert und be-
stimmt, inwiefern sich diese in der Rehabilitation verändert. Sobald die Variable defi-
niert ist, werden die Daten einer Single Case Study hinzugezogen. In dieser wurden
Daten zum Gang mit einer konservativ behandelten Achillessehnenruptur zu ver-
schiedenen Messzeitpunkten gesammelt. Nun wird analysiert, wie sich die Variable
zu den verschiedenen Messzeitpunkten verändert hat. Die Resultate werden am
Schluss kritisch diskutiert.

3.1 Literaturrecherche

Für die Literaturrecherche werden die Datenbanken CINAHL, MEDLINE und die Cochrane Library genutzt. Dadurch soll gewährleistet werden, dass die Literatur gesundheitswissenschaftlich fundiert ist. Zusätzlich erfolgt eine Freihandsuche in der ZHAW-Bibliothek und durch Google Scholar. Die wichtigsten Schlagwörter der Literaturrecherche sind in der Tabelle 2 ersichtlich. Diese werden mit den Booleschen Operatoren «and» und «or» kombiniert.

Man hat sich für die folgenden Ein- und Ausschlusskriterien entschieden: Für die Auswahl der Variable wurden Quellen mit einer operativen sowie einer konservativen Behandlung in Betracht gezogen, da sich das Rehabilitationsschema nicht gross differenziert. Die spätere Datenanalyse bezieht sich jedoch nur auf eine konservativ behandelte Ruptur. Man hat sich ausschliesslich auf die Behandlung einer vollständigen Ruptur fokussiert. Weitere Krankheitsbilder der Achillessehne, wie beispielsweise die Achillodynie oder eine Achillessehnenentzündung, werden aus der Recherche ausgeschlossen. Weitere Ausschlusskriterien sind Quellen, welche die Gütekriterien nach AICA nicht erfüllen.

Tabelle 2: Keywords, die während der Literaturrecherche benutzt wurden

| | Keywords englisch | Keywords deutsch | Trunktionen |
|-------------------|--|-------------------------|--------------------|
| Population | Achilles tendon rupture | Achillessehnenruptur | achilles* |
| Phänomen | gait, kinematics | Gang | - |
| Setting | rehabilitation | Rehabilitation | Reha* |
| | Conservativ treatment | konservativ | conservativ* |
| | Surgical treatment, operation, surgery | operativ | surg* |

Quelle: Eigene Darstellung

3.2 Single Case Study

Bei einer Case Study handelt es sich um eine qualitative und explorative Forschungsmethode. (Gustafsson, 2017) Die Methode untersucht ein reales, zeitgemässes, begrenztes System oder mehrere begrenzte Systeme über eine gewisse Zeit. Die Forscherinnen und Forscher verwenden eine detaillierte, eingehende Datenerfassung mit mehreren Informationsquellen und berichten anschliessend über eine Fallbeschreibung oder über Fallthemen. (Creswell, 2013, zitiert in Gustafsson, 2017) Durch die Einzelfallanalyse ist die Generalisierung auf die Allgemeinheit nur bedingt möglich. Jedoch können mit einer Case Study mögliche Forschungslücken und -Ideen geliefert werden.

In der nachfolgenden Case Study handelt es sich um eine 48-jährige Patientin, welche sich beim Volleyballspielen eine Achillessehnenruptur zugezogen hat. Die Patientin hat über eine gewisse Zeitdauer ein Schmerztagebuch geführt. Zusätzlich wurde eine biomechanische Bewegungsanalyse an verschiedenen Messzeitpunkten durchgeführt sowie auch mehrere Ultraschallmessungen gemacht. Die Patientin wurde während der Rehabilitation mit Physiotherapie unterstützt. Die Analyse der «Case Study» ist sinnvoll, da man die Patientin über eine längere Zeit mit den verschiedenen Messmethoden analysierte. Mit den erhobenen Daten kann man Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Messschwerpunkten finden, wie zum Beispiel welchen Einfluss die Reduktion des Keilabsatzes auf den Gang und den Schmerz hat.

3.2.1 Angaben zur Patientin und zum Procedere

Bei der Probandin handelt es sich um eine 48-jährige Patientin. Sie arbeitet als Bürokauffrau und führt Haushaltsaktivitäten aus. Die Patientin fährt regelmässig mit dem Velo zur Arbeit, ansonsten treibt sie seit zwei Jahren keinen regelmässigen Sport. Ziel der Patientin war es, dass sie nach der Rehabilitation wieder gehen, velofahren, joggen, schwimmen, wandern und tennis spielen kann. Die Patientin leidet an der Nebendiagnose Fibromyalgie.

Fibromyalgie ist eine chronische Erkrankung. Im Vordergrund stehen die körperstreuenden Schmerzen und das Steifigkeitsgefühl. Zusätzlich könnten noch neurologische

(Schwindelgefühl, Kopfwahl und Migräne, Benommenheit), konstitutionelle (Schlafstörungen, Gewichtsveränderungen, Fatigue), muskuloskelettal (Schmerz, Steifigkeit, Schwäche), gastrointestinal (Übelkeit, Reizdarmsyndrom) und psychologische (erhöhte Reizbarkeit, Depression, Ängste) Symptome auftreten. (Lee & Alois, 2020)

Die Patientin zog sich die Achillessehnenruptur am 12. September 2018 beim Volleyballspielen zu. Sie hörte einen Knall und spürte einen dolchstichartigen Schmerz im linken Fuss. Sie entschied sich für eine konservative Behandlung, welche ihr auch empfohlen wurde. Nach Behandlungsschema musste die Patientin den linken Fuss für 5 Wochen in einer Spitzfussstellung im Spezialschuh lagern. Die Patientin besuchte regelmässig die Physiotherapie. Die Physiotherapie wurde unabhängig von einer Person, die nicht im Forschungsteam war, durchgeführt. Es wurden zwei Verordnungen für die Physiotherapie ausgestellt. Gemäss dem Schmerztagebuch wurden 15 Termine wahrgenommen. Ab der 6. Woche Posttrauma wurde die Physiotherapie in regelmässigen Abständen von ein bis zwei Wochen durchgeführt. Am Ende der Therapie wurden die Abstände zwischen den Therapieeinheiten grösser. Das heisst die Therapie wurde im Februar 2019 von ein Mal in der Woche auf alle zwei Wochen reduziert. Die letzte Therapieeinheit fand am 18. März 2019 statt. Die Patientin trug am Anfang der Rehabilitation zusätzlich Kompressionsstrümpfe. Zu Beginn der Therapie war der Fokus vor allem auf der Schwellungsreduktion, auf den aktiven und passiven Mobilisationsübungen und passiven Weichteiltechniken für die Tonusregulation. Die Belastung des Fusses war am Anfang der Rehabilitation nur bedingt möglich. Für eine Entlastung des Fusses benutzte die Patientin für die ersten vier Wochen Unterarmgehstöcke. Danach wurden die Gehstöcke nur noch für längere Gehstrecken eingesetzt. Der detaillierte Belastungsaufbau von der Teilbelastung zur Vollbelastung wurde mit der zuständigen Physiotherapeutin abgesprochen, aber nicht festgehalten. Im weiteren Verlauf lag der Fokus vermehrt auf aktiven Übungen für den Kraftaufbau (MTT) und der Gangschulung.

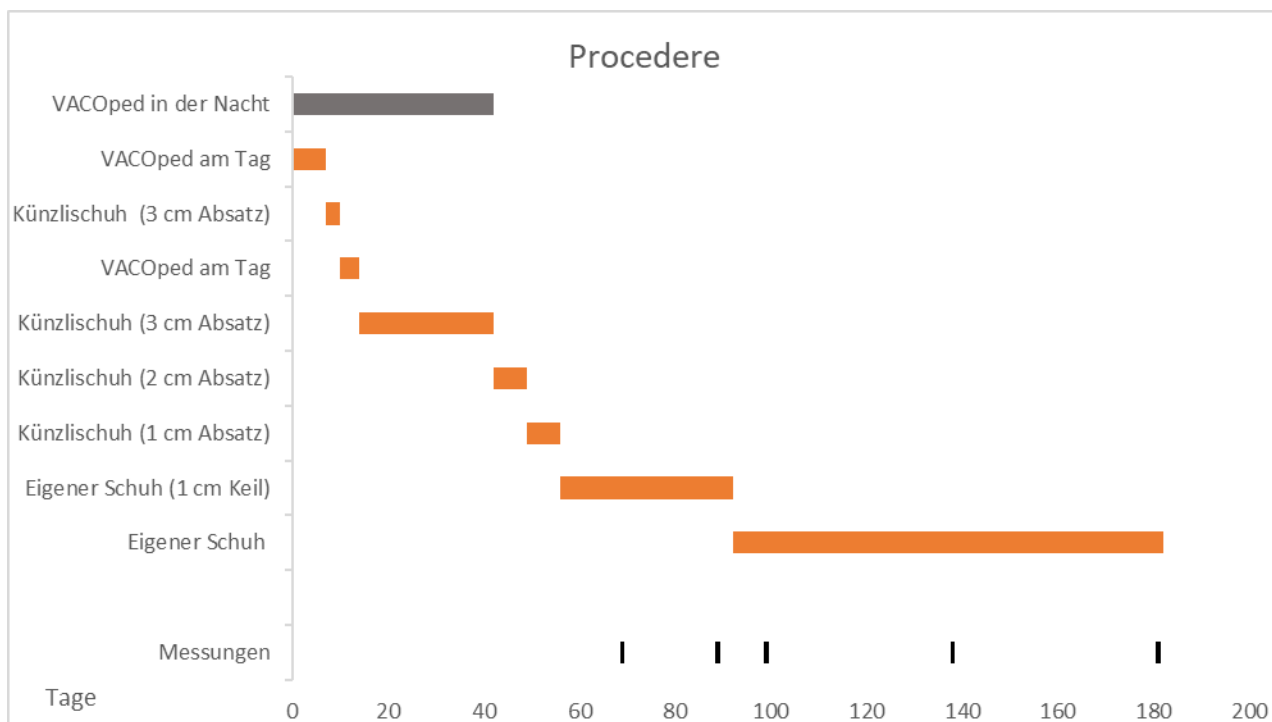
In der ersten Woche (12.09.2018 bis 19.09.2018) wurde der Fuss in einem VACOPed-Schuh in circa 30° Plantarflexionsstellung ruhiggestellt. Die Patientin trug den VACOPed-Schuh für die ersten sechs Wochen (12.09.2018 bis 24.10.2018) auch in der Nacht. Nach einer Woche (19.09.2018) wechselt man tagsüber in den Künzli

Achilles-Schuh mit einem drei Zentimeter Keilabsatz. Der Winkel des Künzli Achilles-Schuhs ist vergleichbar mit dem VACOped-Schuh. Durch die starken Schmerzen und die Schwellung musste die Patientin nach drei Tagen wieder zurück zum VACOped-Schuh wechseln. Zwei Wochen (26.09.2018) nach dem Trauma war der Wechsel in den Künzli Achilles-Schuh mit drei Zentimeter Keilabsatz erfolgreich. Diesen trug sie dann definitiv für weitere vier Wochen. In der sechsten posttraumatischen Woche (24.10.2018 bis 30.10.2018) erfolgte eine Keilreduktion um einen Zentimeter. In der darauffolgenden Woche wurde nochmals eine Keilreduktion um einen Zentimeter durchgeführt. In der achten Woche posttraumatisch (07.11.2018 bis 13.11.2018) wechselte die Patientin in ihren Alltagsschuh mit einem Keil von einem Zentimeter. In der 13. Woche posttraumatisch wurde der letzte Keilwechsel durchgeführt. Insgesamt erfolgten drei Keilwechsel. Die verschiedenen Wechsel sind in der Abbildung 3 ersichtlich.

3.2.2 Datenerhebung

Die Ganganalyse fand an sechs verschiedenen Zeitpunkten statt. Die erste Messung wurde am 20.11.2018 durchgeführt. Die Patientin trug seit einer Woche den eigenen Schuh mit einem Keil von einem Zentimeter. In der letzten Woche mit dem eigenen Schuh und dem Ein-Zentimeter Keil fand am 10.12.2018 eine zweite Messung statt. Der Unfall war zu diesem Zeitpunkt drei Monate her. Der nächste Wert wurde am 20.12.2018 erhoben, da konnte die Patientin bereits eine Woche im eigenen Schuh gehen. Danach wurden jeweils zwei weitere Werte erfasst: nach sechs Wochen im eigenen Schuh (28.01.2019) und nach sechs Monate nach der Verletzung (12.03.2019). In der Abbildung 3 sind die Schuhwechsel und die verschiedenen Messzeitpunkte ersichtlich.

Abbildung 3: Schuhwechsel, Tragedauer der Schuhe und die verschiedenen Messzeitpunkte



Quelle: Eigene Darstellung

Die Messungen wurden an der Zürcher Fachhochschule für angewandte Wissenschaften, Departement G in Winterthur durchgeführt. Der detaillierte Beschrieb des Vorgehens der Ganganalyse findet man im Kapitel «Datenerhebung & -Verarbeitung» in der Querschnittstudie «Achillessehnen Verletzungen: Untersuchung von Stabilschuhen der medizinischen Versorgung» von Bettina Sommer und Dr. Eveline Graf, (2019). Die Studie findet man im Anhang A.

3.2.3 Datenanalyse

Zum einen standen Daten mit einem vorgeschriebenen Gangtempo und zum anderen mit einem selbstgewählten Gangtempo zur Verfügung. Daraufhin wurde entschieden, die Daten mit dem vorgeschriebenen Gangtempo genauer zu analysieren. Dies aus dem Grund, dass die verschiedenen Daten dadurch miteinander verglichen werden können. Danach erfolgte eine deskriptive Analyse der Daten. Es wurde zum einen die Veränderung der Variable zwischen den Messzeitpunkten analysiert. Zum anderen schaute man sich die Differenz zwischen der ersten und letzten Messung an. Ebenfalls wurden die Daten des rechten gesunden Beines mit den Daten des lin-

ken verletzten Beines miteinander verglichen. Die Ergebnisse sind im Kapitel 5 dokumentiert. Im Anhang C, D und E sind die benutzten Tabellen und Berechnungen ersichtlich.

4 Ergebnisse der Literaturrecherche

In diesem Kapitel werden die Resultate der Literaturrecherche erläutert. Insgesamt wurden in der Literatur Informationen zur Bodenreaktionskraft, zur Schrittlänge und zur maximalen Beweglichkeit des oberen und unteren Sprunggelenkes sowie des Kniegelenkes zusammengetragen. Insgesamt wurden sechs Studien genauer analysiert, welche zur Beantwortung der Fragestellung beitragen. Die Studien werden in diesem Kapitel kurz zusammengefasst, damit die Schlussfolgerung zur Variablen verstanden werden kann. Die zusammengetragenen Daten sind in der Tabelle 3 ersichtlich. Daten, welche nicht in die Tabelle genommen werden konnten, sind als Abbildung im Anhang B zu finden.

4.1 Studien

Tengman & Riad (2013) untersuchten 52 Patientinnen und Patienten, welche sich im Durchschnitt vor 3,3 Jahren eine Achillessehnenruptur zugezogen haben. Das Ziel der Studie war es, die körperliche Funktion mit objektiven Messungen bei Patientinnen und Patienten nach einer Achillessehnenruptur zu messen. Die Teilnehmenden wurden konservativ behandelt. Die betroffenen Personen wurden mit einer Kontrollgruppe in Vergleich gesetzt. In der Kontrollgruppe waren 20 gesunde Personen, die keine Verletzungen oder Beschwerden in den unteren Extremitäten hatten. Die Mehrheit der betroffenen Personen (32) wurden in einem Gips immobilisiert. 19 Patientinnen und Patienten erhielten eine Kombination aus Gips und Orthese und ein Patient wurde nur mit einer Orthese behandelt. Die Immobilisation variierte zwischen sieben und neun Wochen. Eine Teilbelastung war im Durchschnitt nach vier Wochen erlaubt. Nach der Immobilisation trugen die Probandinnen und Probanden einen Schuh mit einem Keilabsatz. Es wurde eine einmalige dreidimensionale Ganganalyse durchgeführt. Die betroffenen Personen zeigten auf der verletzten, wie auch auf der gesunden Seite eine signifikant kürzere Schrittlänge als die Kontrollgruppe. Zusätz-

lich war beim Gang ersichtlich, dass beim betroffenen Fuss die maximale Dorsalex-
tension im Vergleich zum gesunden Fuss und zur Kontrollgruppe höher war. Die ma-
ximale Plantarflexion war kleiner als beim gesunden Fuss sowie auch gegenüber der
Kontrollgruppe. Einen signifikanten Unterschied zeigte sich zwischen den betroffenen
Personen und der Kontrollgruppe in der maximalen Knieflexion. Die Patientinnen und
Patienten hatten eine verringerte maximale Knieflexion im Vergleich zu der Kontroll-
gruppe. Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen dem betroffenen Bein und
dem nicht betroffenen Bein. Bei der maximalen Knieextension fand man keinen signi-
fikanten Unterschied zwischen den betroffenen Personen und der Kontrollgruppe so-
wie auch zwischen dem betroffenen und dem gesunden Bein.

Don et al. (2007) untersuchten 49 Probandinnen und Probanden, welche sich eine
Achillessehnenruptur zugezogen und sich für eine operativen Behandlung entschie-
den hatten. Sie wollten die Beziehung zwischen der Einheit der Plantarflexionssehne
und des Gangs untersuchen. Es wurden drei, sechs, zwölf und 24 Monate nach der
Operation klinische Assessments, eine biomechanische Analyse sowie auch eine
Ganganalyse durchgeführt. Die ersten zwei Wochen nach der Operation mussten die
Probandinnen und Probanden einen Schuh mit 15° Plantarflexion tragen. Danach
wechselten sie in eine funktionelle Schiene (RoM-Walker, Don Joy, Smith und
Nephew, Buena Vista, California), welche eine limitierte Dorsalextension bis zur
Neutralstellung des oberen Sprunggelenkes und eine unlimitierte Plantarflexion er-
laubte. Ab der vierten Woche durften sie mit einer Teilbelastung gehen. In der achten
Woche wurde die Vollbelastung erreicht. Bei der Erfassung der kinematischen Para-
meter fand man heraus, dass nach drei und sechs Monaten die maximale Dorsalex-
tension im betroffenen Bein signifikant tiefer war, als im Vergleich zum gesunden
Bein. Dies änderte sich jedoch nach zwölf Monaten. Die maximale Dorsalextension
zeigte sich signifikant höher, im Vergleich zu den vorherigen Assessments und zum
gesunden Bein. Die signifikant höhere Dorsalextension im betroffenen Bein blieb
nach 24 Monaten bestehen. Ebenfalls stellen die gemessenen Daten dar, dass die
Schrittlänge des betroffenen Beines, im Vergleich zum gesunden Bein, nach drei Mo-
naten signifikant kürzer ist. Dies verbesserte sich jedoch nach sechs Monaten signifi-
kant. Nach 24 Monaten konnte kein signifikanter Unterschied zwischen dem betroffe-
nen und dem gesunden Bein festgestellt werden.

Zellers, Tucker et al. (2019) untersuchten die Auswirkungen eines orthopädischen Schuhs auf den Gang. Die zwölf Probandinnen und Probanden dieser Studie trugen alle den Schuh namens Aircast Airselect mit drei verschiedenen Keilabsätzen von 0 cm, 3,3 cm und 5,5 cm. Die Probandinnen und Probanden hatten alle keine Verletzungen. Aus diesem Grund war für eine Stunde eine Angewöhnungsphase notwendig, bevor Tests durchgeführt wurden. Obwohl keine Verletzungen vorhanden waren, konnte eine signifikante Veränderung der vertikalen Bodenreaktionskraft festgestellt werden. Umso höher der Keil war, desto kleiner war die vertikale Bodenreaktionskraft. Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass je höher der Keil ist, desto größer ist die maximale Knieextension.

Marcolin et al. (2015) hatten die Möglichkeit eine Single Case Study durchzuführen mit Daten vor und nach einer Achillessehnenruptur. Der Patient wurde operativ behandelt. Danach wurde der Fuss für eine Woche in einem Gips in 15° Fussspitzstellung ruhiggestellt. Anschliessend wechselte der Patient in eine funktionelle Schiene, welche in 15° Plantarflexion eingestellt war, für eine Woche. Nach dieser Woche wurde die funktionelle Schiene für drei Wochen so eingestellt, dass eine unlimitierte Plantarflexion und eine limitierte Dorsalextension bis zur Neutralstellung erlaubt war. Fünf Wochen postoperativ wurde die Belastung stetig gesteigert. Die volle Belastung erreichte der Patient in der achten Woche. Zu diesem Zeitpunkt war er nicht mehr auf ein orthopädisches Hilfsmittel angewiesen. Die Daten wurden in der ersten, vierten und siebten Woche nach dem Übergang in die Vollbelastung erfasst. Die Messungen zeigten auf, dass die vertikale Bodenreaktionskraft etwas höher war, als vor der Verletzung. Es konnte jedoch kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Ebenfalls konnte aufgezeigt werden, dass die Schrittlänge nach sieben Wochen Vollbelastung gleich war, wie vor der Verletzung.

Grävare Silbernagel et al. (2012) führten eine Fallanalyse über eine 23-jährige Probandin durch, die sich eine Achillessehnenruptur während dem Fussballspielen zugezogen hatte. Die Ruptur wurde operativ versorgt. Sie hatte bereits vor dem Trauma an einer Rennanalyse teilgenommen. Dadurch konnten die Daten postoperativ, mit den Daten präoperativ verglichen werden. Für die ersten zwei Wochen trug

sie einen Gips in einer Spitzfussstellung. Anschliessend wechselte sie für sechs Wochen in eine funktionelle Schiene mit einem Keilabsatz, der zunehmend kleiner wurde. Nach der sechsten Woche wechselte sie in ihren Alltagsschuh mit einem Keilabsatz. Nach einem Jahr Posttrauma wurde eine erneute Rennanalyse durchgeführt. Dabei wurde herausgefunden, dass sich beim verletzten Fuss die maximale Dorsalextension von prä- zu posttraumatisch um 15% erhöht hat. Man hat jedoch beim gesunden Fuss auch eine Erhöhung der maximalen Dorsalextension von 3° festgestellt. Zusätzlich stellten die Autorinnen und Autoren fest, dass sich die maximale Eversion beim verletzten Fuss, im Vergleich zu vor der Verletzung, um 2.2° erhöhte.

Speedtsberg et al. (2019) wollten herausfinden, ob die langanhaltende Verlängerung der Achillessehne nach 4,5 Jahren Posttrauma noch präsent ist und somit noch Unterschiede im Vergleich vom betroffenen Bein zum gesunden Bein im Gang bestehen. Die 34 Probandinnen und Probanden wählten eine konservative Behandlung. Das Nachbehandlungsschema der Achillessehnenruptur wurde standardisiert. Das verletzte Bein wurde für acht Wochen in der Spitzfussstellung in 20 bis 30° Plantarflexion immobilisiert. Ab der zweiten Woche waren kontrollierte und leichte Bewegungen erlaubt. Bei der Ganganalyse fand man heraus, dass die maximale Dorsalextension beim betroffenen Bein, im Vergleich zum Gesunden signifikant vergrössert ist.

Tabelle 3: Ganganalyseergebnisse der Studien angeordnet nach Messzeitpunkten

| Studie | | Marcolin et al. | Grävare Silbernagel et al. | Marcolin et al. | Don et al. | Marcolin et al. | Marcolin et al. | Don et al. | Don et al. | Grävare Silbernagel et al. | Don et al. | Tengman & Riad | Speedtsberg et al. |
|---|----------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------|-----------------|----------------------------|----------------|-----------------|--------------------|
| Messzeitpunkt | | Werte vor der Verletzung | Werte vor der Verletzung | 9 Wochen 1 Woche Vollbelastung | 3 Monate | 3 Monate 4 Wochen Vollbelastung | 5 Monate 7 Wochen Vollbelastung | 6 Monate | 12 Monate | 12 Monate | 1 Jahr | 2-5 Jahre | 4.5 Jahre |
| Schrittlänge | Verletzt | 64cm (0.01) | | 48cm (0.02) | 50 cm (9.2) a | 52cm (0.03) | 65cm (0.01) | 56.1cm (8.9) a c | 56.3cm (9.0) a | | 61.5cm (9.9) c | 65cm (0.06) b | |
| | Gesund | 66cm (0.01) | | 37cm (0.03) | 61.2cm (6.9) | 51cm (0.03) | 66cm (0.01) | 62.1cm (7.1) | 62.8cm (7.4) | | 61.9cm (7.2) | 65cm (0.06) b | |
| | Kontrollgruppe | | | | | | | | | | | 68cm (0.05) | |
| Max. Dorsalextension | Verletzt | | 24.8° | | 10.4° (4.5) a | | | 10.6° (4.0) a | 19.5° (3.9) a c | 28.4° | 19.4° (4.1) a | 14.3° (2.9) a b | 16.9° (3.1) a |
| | Gesund | | 28° | | 15° (2.2) | | | 15.8° (2.0) | 15.1° (2.1) | 31.1° | 15° (1.9) | 13.3° (2.6) | 14.9° (0.4) |
| | Kontrollgruppe | | | | | | | | | | | 12.7° (2.6) | |
| Max. Plantarflexion | Verletzt | | | | | | | | | | | 11.2° (4.5) | |
| | Gesund | | | | | | | | | | | 13.1° (5.4) a b | |
| | Kontrollgruppe | | | | | | | | | | | 15.3° (5.3) | |
| Max. Eversion | Verletzt | | 8.8° | | | | | | | 11° | | | |
| | Gesund | | 9.9° | | | | | | | 8.7° | | | |
| | Kontrollgruppe | | | | | | | | | | | | |
| Max. Knieextension | Verletzt | | | | | | | | | | | -1.1° (3.7) | |
| | Gesund | | | | | | | | | | | -0.5° (3.0) | |
| | Kontrollgruppe | | | | | | | | | | | 0.2° (2.2) | |
| Max. Knieflexion | Verletzt | | | | | | | | | | | 56.2° (5.9) a b | |
| | Gesund | | | | | | | | | | | 55.1° (4.7) | |
| | Kontrollgruppe | | | | | | | | | | | 58.8° (3.3) | |
| Max. Bodenreaktionskraft (%Körpergewicht) | Verletzt | 111.6% (0.5) | | 99.9% (0.04) | | 99% (1.2) | 112.8% (4.4) | | | | | | |
| | Gesund | 116% (2.8) | | 105% (1.1) | | 107% (2.1) | 122% (4.00) | | | | | | |
| | Kontrollgruppe | | | | | | | | | | | | |

a= signifikant im Vergleich zum gesunden Bein
 b= signifikant im Vergleich zur Kontrollgruppe
 c= signifikant im Vergleich zum vorherigen Assessment
 (°)= Standardabweichung

Quelle: Eigene Darstellung

4.2 Auswahl der Variable

In der Single Case Study hat man sich vor allem auf die Schrittlänge, die maximale Beweglichkeit im unteren und oberen Sprunggelenk sowie im Kniegelenk und die Bodenreaktion fokussiert. Somit schenkte man bei der Literaturrecherche mehrheitlich diesen Variablen die Aufmerksamkeit. Es wurden drei Studien gefunden, welche sich mit der Variable Schrittlänge befasst hatten. Don et al. (2007); Marcolin et al. (2015) und Tengman & Riad (2013) konnten aufzeigen, dass sich die Schrittlänge nach einem gewissen Zeitpunkt nicht differenziert. Aus diesem Grund entschied man sich gegen diese Variable.

Marcolin et al. (2015) und Zellers, Tucker et al. (2019) konnten feststellen, dass die vertikale Bodenreaktionskraft in einem orthopädischen Schuh mit Keil sinkt. Jedoch erholt sich die Bodenreaktionskraft, sobald die Belastung gesteigert werden kann, sodass in der Remodulierungsphase kein grosser Unterschied feststellbar ist. Aus diesem Grund wurde auch die Variable der Bodenreaktionskraft nicht gewählt.

In der Literatur schenkte man der maximalen Dorsalextension grosse Beachtung. In den folgenden Studien: Don et al. (2007); Grävare Silbernagel et al. (2012); Speedtsberg et al. (2019) und Tengman & Riad (2013) wurde eine höhere maximale Dorsalextension beim betroffenen Bein im Vergleich, zum gesunden Bein festgestellt. Dieser Unterschied blieb nach 24 Monaten weiterhin bestehen. Da bei der maximalen Dorsalextension ein grosser Unterschied besteht, ist es wichtig, die maximale Plantarflexion ebenfalls in Betracht zu ziehen. Die untersuchten Studien zeigen hierzu wenige bis keine Resultate auf.

Ein weiteres auffälliges Resultat lieferten Grävare Silbernagel et al. (2012) bezüglich der Eversion. Diese war beim betroffenen Bein in der Remodulierungsphase auffallend erhöht. Zu der Inversion wurden keine Werte gefunden.

In den verschiedenen Studien stand die maximale Kniebeweglichkeit im Diskussions- teil im Vordergrund. Es wurde darauf hingewiesen, dass man diese in zukünftigen Studien miteinbeziehen sollte. Die maximale Beweglichkeit im Knie sowie auch im Fuss kann einen grossen Einfluss auf den Gang haben. Somit entschied man sich für

die Variable der maximalen Beweglichkeit im Fuss in der Sagittal- und Frontalebene (Plantarflexion, Dorsalextension, Eversion und Inversion) sowie für die maximale Beweglichkeit im Knie in der Sagittalebene (Flexion und Extension).

5 Ergebnisse der Single Case Study

In diesem Kapitel werden die Daten der Single Case Study genauer analysiert. Wie im vorherigen Kapitel erwähnt, lag der Fokus der Analyse auf der maximalen Beweglichkeit im Fuss in der Sagittal- und Frontalebene sowie in der maximalen Beweglichkeit im Knie in der Sagittalebene. Damit eine Aussage über den Verlauf der Variable in der Rehabilitation gemacht werden kann, wurden folgende Punkte genauer in Betracht gezogen: Die Veränderung der Variable zwischen den Messzeitpunkten, die Differenz von der ersten Messung zur letzten Messung und der Unterschied vom rechten gesunden Bein zum linken verletzten Bein. Desweiteren wird dokumentiert zu welchem Zeitpunkt des Gangzyklus die entsprechenden Extrema auftreten.

5.1 Frontalebene Fuss

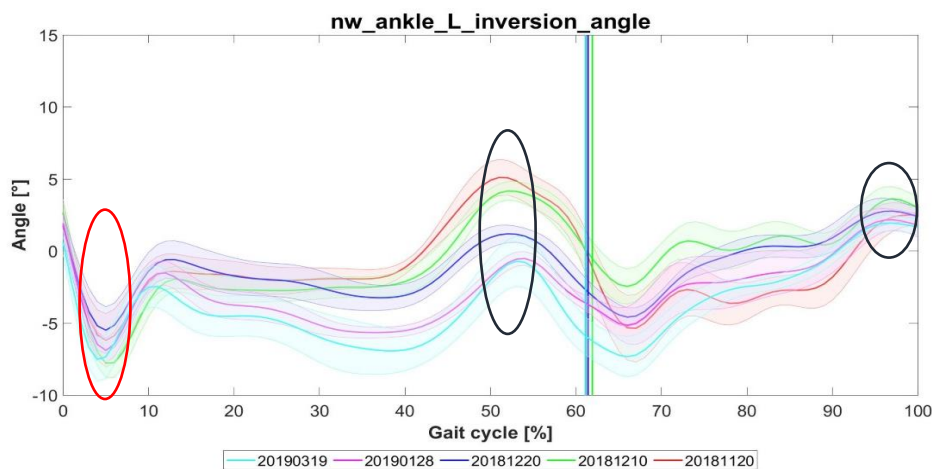
Die Messung der maximalen Beweglichkeit der Füße in der Frontalebene ermöglicht es eine Aussage über das Verhalten der Inversion und Eversion zu machen. Die Daten der Analyse sind im Anhang C vorzufinden.

5.1.1 Linkes Fussgelenk

Das absolute Minimum schwankt zwischen den Messzeitpunkten. Interessant ist der Vergleich der ersten Messung zu Beginn der Remodulierungsphase mit 6.19° Eversion mit der letzten Messung im späten Verlauf der Remodulierungsphase mit 7.51° Eversion. Dadurch wird ersichtlich, dass die Eversion im Verlauf der Rehabilitation um 1.32° ansteigt. Die isolierte Analyse der Standbeinphase ergibt denselben Wert. Die Auswertung zeigt, dass das absolute Minimum zwischen 5% und 6% des Gangzyklus erreicht. In der Abbildung 4 ist dieser Punkt mit einem roten Kreis markiert.

Das absolute Maximum sinkt von Messzeitpunkt zu Messzeitpunkt. Insgesamt sinkt die Inversion um 3.17° . Betrachtet man nur die Standbeinphase beträgt die Reduktion der Inversion 4.51° . Bei den ersten zwei Messungen tritt das absolute Maximum bei 52% und 53% des Gangzyklus auf. Bei den darauffolgenden Messungen befindet sich das absolute Maximum bei 98% des Gangzyklus. Die beiden Höhepunkte sind in der Abbildung 4 schwarz markiert.

Abbildung 4: Verlauf der Extrema am linken Fussgelenk im vorgeschriebenen Schrittempo



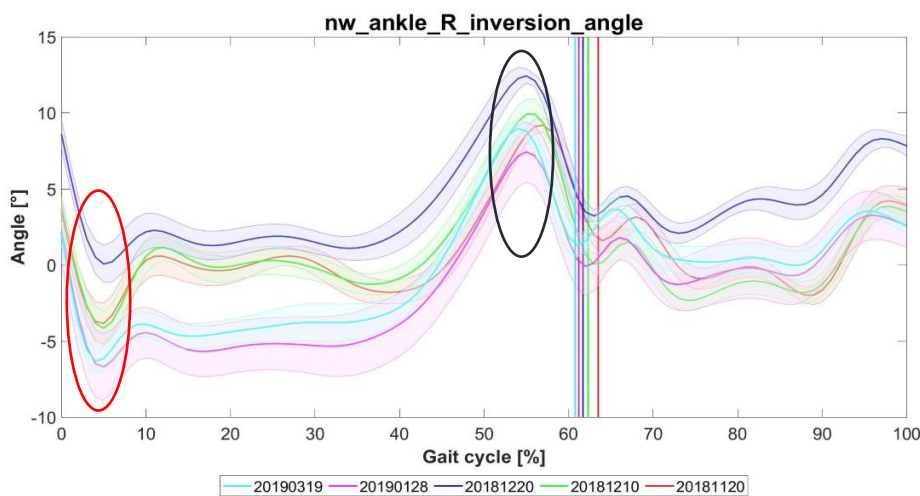
Quelle: Eigene Darstellung

5.1.2 Rechtes Fussgelenk

Das absolute Minimum beim rechten Fuss ist mit Auffälligkeiten verbunden. Bei der dritten Messung vom 20.12.2018 befindet sich der Fuss in einer Inversion von 0.07° anstatt in einer Eversion, wie bei den restlichen Messungen. Trotz dieses Wertes vergrössert sich die Eversion im Verlauf der Datenerhebung um 2.47° . Die isolierte Analyse der Standbeinphase ergibt denselben Wert. Das absolute Minimum tritt zwischen 5% und 6% des Gangzyklus auf. Dies ist in Abbildung 5 im roten Kreis ersichtlich.

Das absolute Maximum weist während den Messungen keine starken Veränderungen auf. Die Differenz von der ersten zur letzten Messung beträgt 0.23° . Die Werte der Standbeinphase alleine sind dieselben. Während des Zyklus tritt das absolute Maximum zwischen 55% und 58% auf. Dies ist in der Abbildung 5 mit einem schwarzen Kreis gekennzeichnet.

Abbildung 5: Verlauf der Extrema am rechten Fussgelenk im vorgeschriebenen Schrittempo



Quelle: Eigene Darstellung

5.1.3 Vergleich zwischen dem linken und rechten Fussgelenk

Das absolute Minimum tritt rechts und links während 5% und 6% des Gangzyklus auf. Das linke Fussgelenk hat von Beginn an eine höhere Eversion als das rechte Fussgelenk. Bei beiden Füßen vergrössert sich die Eversion im Verlauf um ein paar Grad. Jedoch kann beim rechten Fussgelenk eine höhere Steigerung der Eversion

festgestellt werden. Ein Vergleich der beiden Fussgelenke am letzten Messzeitpunkt zeigt auf, dass sich die Eversion um 1.21° differenziert.

Bei der Betrachtung des absoluten Maximums fällt auf, dass sich dieses beim linken Fussgelenk im Verlauf der Messungen im Gangzyklus verschiebt. Dies ist beim rechten gesunden Fuss nicht feststellbar. Jedoch tritt das absolute Maximum zu Beginn bei beiden Füßen zwischen 52% und 58% des Gangzyklus auf. Die Messungen weisen nach, dass das rechte Fussgelenk von Beginn an immer eine höhere Inversion aufweist. Rechts findet praktisch keine Veränderung der Inversion statt, wohingegen sich im linken Fussgelenk die Inversion um 3.17° verringert. Bei der letzten Messung besteht zwischen dem rechten und dem linken Fussgelenk weiterhin eine Differenz von 7.03° .

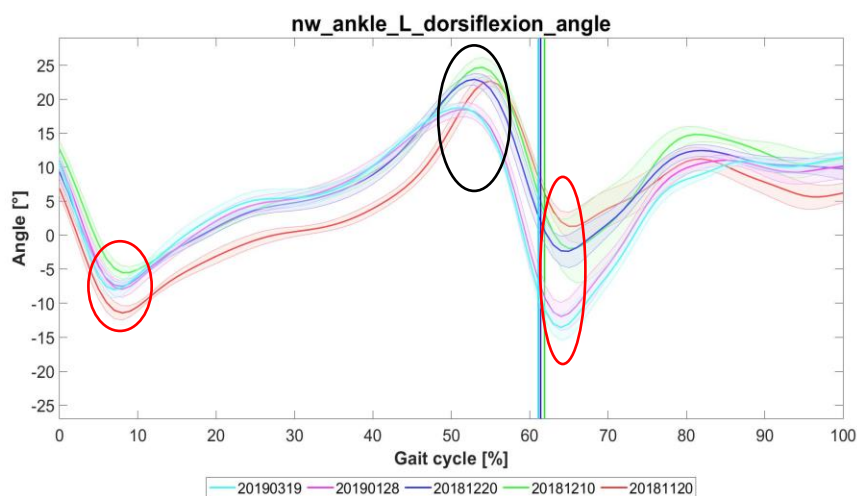
5.2 Sagittalebene Fuss

In der Sagittalebene der Fussgelenke lassen sich die Bewegungsrichtungen Dorsalextension und Plantarflexion feststellen. Die Daten der Analyse findet man im Anhang D.

5.2.1 Linkes Fussgelenk

Die maximale Plantarflexion nimmt beim linken Fuss von der ersten zur zweiten Messung um 5.93° ab. Anschliessend zeigte sich, dass die Plantarflexion mit jeder weiteren Messung zunimmt. Am Schluss liegt sie bei 13.57° . Somit steigt die Plantarflexion im Verlauf der Rehabilitation um 2.14° . Betrachtet man die Standbeinphase isoliert, nimmt die Plantarflexion um 3.92° ab. Zu Beginn der Remodulierungsphase wird das absolute Minimum im Gangzyklus bei 9% gemessen. Bei den letzten beiden Messungen, in der fortgeschrittenen Remodulierungsphase, wird das absolute Minimum bei 65% aufgezeichnet. Diese Werte sind in der Abbildung 6 rot umkreist.

Abbildung 6: Verlauf der Extrema am linken Fussgelenk im vorgeschriebenen Schrittempo



Quelle: Eigene Darstellung

Das absolute Maximum verhält sich folgendermassen: Zu Beginn der Remodulierungsphase kann eine Dorsalextension von 22.66° festgestellt werden. Am Ende der Remodulierungsphase liegt die Dorsalextension bei 18.74° . Das absolute Maximum verringert sich somit im linken Fussgelenk im Verlauf der Datenerhebung um 3.92° . Die isolierte Analyse der Standbeinphase zeigt die gleichen Werte auf. Das absolute

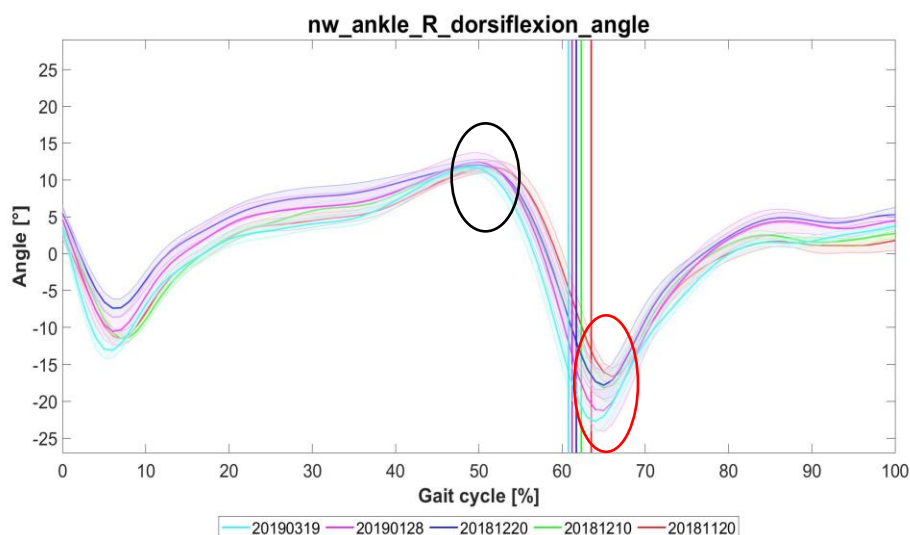
Maximum vom linken Fussgelenk befindet sich im Gangzyklus zwischen 52% und 56%. In der Abbildung 6 ist dies im schwarzen Kreis ersichtlich.

5.2.2 Rechtes Fussgelenk

Das absolute Minimum beträgt zu Beginn der Remodulierungsphase 16.64° und bei fortgeschrittener Remodulierungsphase 22.74° . Insgesamt nimmt die Plantarflexion um 6.10° zu. Wird die Standbeinphase isoliert betrachtet, nimmt die Plantarflexion um 1.59° zu. Das absolute Minimum tritt während des Gangzyklus zwischen 65% und 67% auf. Dies ist in der Abbildung 7 rot umkreist.

Zu Beginn der Remodulierungsphase beträgt das absolute Maximum eine Dorsalextension von 11.76° . Bei der letzten Messung in der fortgeschrittenen Remodulierungsphase wird eine Dorsalextension von 11.79° dokumentiert. Die maximale Dorsalextension nimmt während der gesamten Datenerhebung um 0.03° zu. Die isolierte Analyse der Standbeinphase zeigt die gleichen Werte auf. Das absolute Maximum tritt zwischen 50% und 52% des Gangzyklus auf. Diese Werte sind in der Abbildung 7 schwarz markiert.

Abbildung 7: Verlauf der Extrema am rechten Fussgelenk im vorgeschriebenen Schrittempo



Quelle: Eigene Darstellung

5.2.3 Vergleich zwischen dem linken und rechten Fussgelenk

Ein spannender Punkt ist, dass beim linken Fussgelenk das absolute Minimum in den ersten drei Messungen im Gangzyklus bei 9% liegt und anschliessend bei 65%. Beim rechten Fussgelenk befindet sich das absolute Minimum von Beginn an zwischen 65% und 67% des Gangzyklus. Das rechte Fussgelenk weist bei der gesamten Datenerhebung eine höhere Plantarflexion auf. Die Plantarflexion im linken sowie auch im rechten Fussgelenk nimmt im Verlauf der Datenerhebung zu. Jedoch kann rechts eine höhere Steigerung festgestellt werden. Die Differenz zwischen dem linken und rechten Fussgelenk liegt bei der letzten Datenerhebung bei 9.17° . Die Differenz nimmt im Vergleich zum ersten Messzeitpunkt zu.

Bei beiden Füßen kann das absolute Maximum in der Schwungbeinphase zwischen 50% und 56% des Gangzyklus festgestellt werden. Das linke Fussgelenk weist bei der gesamten Datenerhebung immer eine höhere Dorsalextension als das rechte Fussgelenk vor. Links nimmt die maximale Dorsalextension ab und rechts nimmt sie minim zu. Die Differenz zwischen dem linken und rechten Fussgelenk beträgt bei der letzten Messung 6.95° .

5.3 Sagittalebene Knie

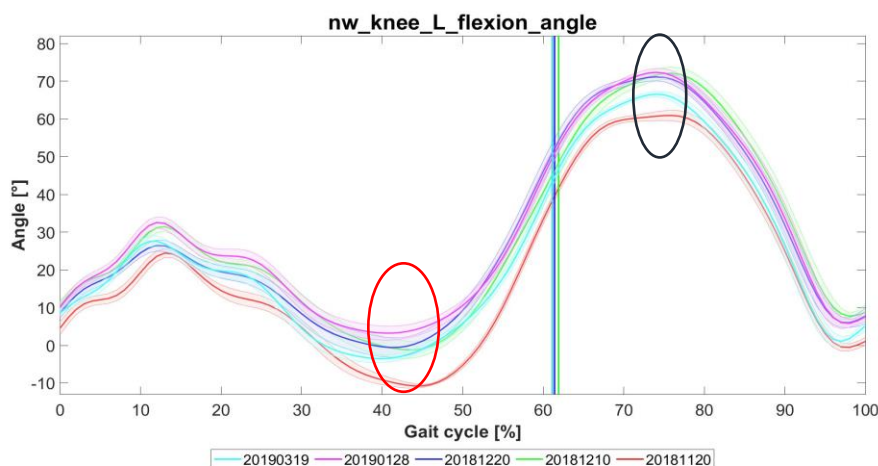
In der Sagittalebene ist es möglich Daten zur Kniegelenksflexion und zur Kniegelenksexension zu erheben. Die Daten der Analyse sind im Anhang E vorzufinden.

5.3.1 Linkes Kniegelenk

Der erste auffallende Wert des absoluten Minimums zeigt sich bei der ersten Messung am 10.12.2018. Das Kniegelenk weist eine Extension von 10.74° auf. Im Vergleich zu den restlichen Messzeitpunkten wird im weiteren Verlauf keine solch hohe Extension dokumentiert. Schon bei der zweiten Messung sinkt die Extension auf 1.18° . Die Extension nimmt im linken Kniegelenk konstant ab ausser bei der letzten Messung. Insgesamt sinkt die Knieextension um 7.22° . Die Analyse der Standbeinphase zeigt die gleichen Werte auf. Die maximale Knieextension ist bei allen Messzeitpunkten zwischen 41% und 45% des Gangzyklus. Das absolute Minimum ist in der Abbildung 8 rot umkreist.

Das absolute Maximum beträgt zu Beginn der Remodulierungsphase 60.91° . Bei der fortgeschrittenen Remodulierungsphase weist das Kniegelenk eine Flexion von 66.55° vor. Die Kniegelenksflexion erhöht sich insgesamt um 5.64° . Betrachtet man die Standbeinphase isoliert, steigt die Flexion um 4.91° . Das absolute Maximum zeigt sich im Gangzyklus während der Schwungbeinphase zwischen 75% und 77%. Dieser Punkt ist in der Abbildung 8 schwarz markiert.

Abbildung 8: Verlauf der Extrema am linken Kniegelenk im vorgeschriebenen Schrittempo



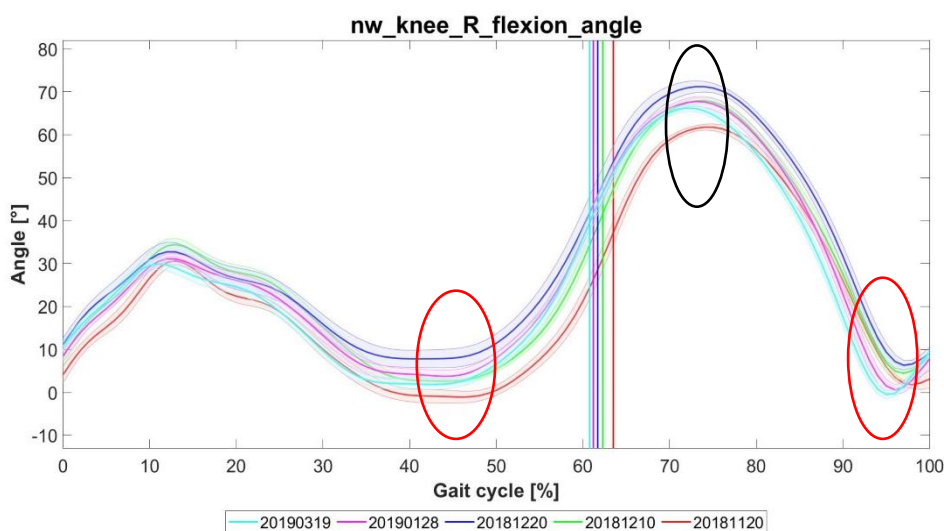
Quelle: Eigene Darstellung

5.3.2 Rechtes Kniegelenk

Bei der ersten Messung weist das absolute Minimum eine Kniegelenksexension von 1.06° auf. Die letzte Messung zeigt eine Extension von 0.51° . Insgesamt nimmt die Extension um 0.55° ab. Bei der isolierten Analyse der Standbeinphase verkleinert sich die Extension um 2.92° . Auffallend sind die Werte vom 20.12.2018. Die Daten zeigen auf, dass die Knieextension vollständig aufgehoben wird. Bis zum dritten Messzeitpunkt zeigt sich das absolute Minimum in der Standbeinphase zwischen 45% und 47% des Gangzyklus. Anschliessend ist das absolute Minimum in der Schwungbeinphase zwischen 96% und 98% des Gangzyklus vorzufinden. Die beiden Punkte sind in der Abbildung 9 rot hervorgehoben.

Zu Beginn der Remodulierungsphase beträgt das absolute Maximum eine Kniegelenksflexion von 61.78° . Bei fortgeschrittener Remodulierungsphase misst die Flexion 66.22° . Die Flexion vergrössert sich im Verlauf der Datenerhebung um 4.44° . Die Analyse der Standbeinphase zeigt hingegen nur eine geringe Differenz zwischen dem ersten und letzten Messzeitpunkt ($+0.60^\circ$) auf. Die maximale Knieflexion wird über alle Messzeitpunkte zwischen 73% und 75% des Gangzyklus gemessen. Dies ist in der Abbildung 9 schwarz eingezeichnet.

Abbildung 9: Verlauf der Extrema am rechten Kniegelenk im vorgeschriebenen Schrittempo



Quelle: Eigene Darstellung

5.3.3 Vergleich zwischen dem linken und rechten Kniegelenk

Das absolute Minimum stimmt bei den ersten zwei Messzeitpunkten rechts und links überein. Es befindet sich zwischen 44% und 47% des Gangzyklus. Beim linken Kniegelenk bleibt das absolute Minimum in dieser Gangphase. Die maximale Knieextension des rechten Beines verschiebt sich jedoch in die Schwungbeinphase und tritt ab der dritten Messung zwischen 96% und 98% des Gangzyklus auf. Das linke Knie weist ausser am 29.01.2019 eine höhere Extension als das rechte Knie auf. Beim linken sowie beim rechten Kniegelenk ist zu erkennen, dass sich die Knieextension zwischen den Messzeitpunkten verringert. Bei der ersten Messung ist der Unterschied von 9.68° zwischen dem linken Knie und dem rechten Knie sehr hoch. Am Schluss liegt die Differenz bei 5.37° .

Die maximale Knieflexion wird in beiden Kniegelenken in der Schwungbeinphase zwischen 73% und 77% des Gangzyklus erreicht. Es kann nicht festgestellt werden, welches Knie insgesamt eine höhere Flexion besitzt, da es sich bei jedem Messzeitpunkt unterscheidet. Bei der isolierten Betrachtung der Standbeinphase besitzt jedoch das linke Bein eine höhere Knieflexion. Beide Seiten tendieren zu einer steigenden Knieflexion. Die Differenz zwischen der rechten und linken Knieflexion ist bei allen Messzeitpunkten klein. Beispielsweise weist die letzte Messung eine Differenz von 0.33° auf.

6 Diskussion

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse interpretiert und mit der Theorie in Verbindung gebracht. Dadurch kann die Fragestellung beantwortet werden. Es erfolgt ein Transfer des neuen Wissens in den Bereich der Physiotherapie. Des Weiteren werden die Limitationen dieser Arbeit aufgezeigt. Dies ermöglicht es, Empfehlungen für weitere Forschungen aufzustellen.

6.1 Interpretation der Ergebnisse

Damit die Ergebnisse interpretiert werden können, wird überprüft, ob die Resultate mit den Normwerten übereinstimmen. Bei grossen Abweichungen wird versucht die

Ursache anhand der Theorie zu erklären. Die Zusammenhänge der verschiedenen Abweichungen werden in den Abbildungen 10 bis 13 dargestellt.

6.1.1 Frontalebene Fuss

Das Kapitel 2.5 zeigt auf, dass sich das absolute Minimum normalerweise im Loading response befindet. Das Subtalgelenk ist zu diesem Zeitpunkt in einer Eversion von 5° . Im linken Fussgelenk zeigt sich das absolute Minimum bei allen Messungen zwischen 5% und 6% des Gangzyklus. Somit tritt das absolute Minimum im richtigen Moment auf. Die erste Messung von 6.19° zeigt eine leicht erhöhte Eversion auf. Da sich die Eversion im weiteren Verlauf um 1.32° erhöht, kann man sagen, dass die Eversion im verletzten Fuss in der fortgeschrittenen Remodulierungsphase weiterhin leicht erhöht ist. Das absolute Minimum des rechten Fussgelenkes befindet sich ebenfalls zwischen 5% und 6% des Gangzyklus. Rechts tritt das absolute Minimum zum richtigen Zeitpunkt auf. Die ersten drei Messungen weichen vom Normwert von 5° Eversion stark ab. Indem die Eversion im Verlauf um 2.47° steigt, ändert sich dies im Verlauf der Rehabilitation. Am Ende ist die Eversion wie beim linken Fussgelenk leicht erhöht (li $7.5^\circ >$ re 6.3°). Da die Abweichung vom Normwert minimal ist, wird das absolute Minimum beim rechten und beim linken Fuss als unauffällig eingestuft. Das absolute Maximum tritt laut Kapitel 2.5 im Terminal swing auf. Das Subtalgelenk kann sich zu diesem Zeitpunkt in einer Neutral-Null-Stellung oder in einer leichten Inversion befinden. Beim linken Fussgelenk ist das absolute Maximum zu Beginn der Messungen im Pre-swing dokumentiert. Der Normwert in dieser Gangphase entspricht einer Neutral-Null-Stellung im Subtalgelenk. Die ersten zwei Messungen sind somit bis zu 5° über der Norm. Ab der dritten Messung verschiebt sich jedoch das absolute Maximum weiter nach hinten im Gangzyklus (98%). Somit kann angenommen werden, dass sich die Inversion im Pre-swing dem Normwert von 0° annähert hat. Der Grund für diese Annäherung kann durch den Wechsel vom 1 cm Keil zum eigenen Schuh erklärt werden. Bei 98% des Gangzyklus befindet sich der Fuss im Terminal swing. Am letzten Messzeitpunkt beträgt die Inversion 1.94° . Somit liegt der verletzte Fuss bei der letzten Messung innerhalb der Norm. Interessante Werte zeigt das absolute Maximum des rechten Fussgelenkes. Das absolute Maximum befindet sich bei allen Messungen im Pre-swing. Somit tritt das absolute Maximum rechts in der gesamten Remodulierungsphase nicht in der Gangphase, die der Norm

entspricht, auf. Aus diesem Grund wird folgend die Pre-swing Phase genauer analysiert. Im Pre-swing befindet sich das Subtalargelenk normalerweise in einer Neutral-Null-Stellung. Bei der ersten Messung weicht der Fuss um 9.2° von der Norm ab. Der Vergleich von der ersten zur letzten Messung zeigt keine grosse Veränderung der Inversion auf. Die Inversion sinkt lediglich um 0.23° und beträgt bei der letzten Messung 8.97° . Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Inversion beim gesunden Fuss stark von der Norm abweicht.

Eine Ursache für die erhöhte Inversion auf der rechten Seite kann eine Hypertonie des M. tibialis anterior, des M. tibialis posterior und des M. soleus sein. Des Weiteren kann eine Schwäche des M. peroneus longus und brevis zu einer erhöhten Inversion führen. Eine erhöhte Inversion hat ebenfalls eine erhöhte Supination zur Folge. Es herrscht eine reduzierte Stossdämpfung sowie eine verminderte Stabilität im Fussgelenk. Aus diesem Grund besteht im rechten Fuss die Gefahr eines Supinationstraumas. (Götz-Neumann, 2016)

6.1.2 Sagittalebene Fuss

Laut Kapitel 2.5 tritt das absolute Minimum im oberen Sprunggelenk im Pre-swing auf. Die Plantarflexion beträgt zu diesem Zeitpunkt 15° . Laut Götz-Neumann (2016) sind Abweichungen von 5° physiologisch. Die erfassten Daten zeigen auf, dass das absolute Minimum beim linken Sprunggelenk bei den ersten drei Messungen im Loading response auftritt. Somit befindet sich das absolute Minimum zu Beginn der Remodulierungsphase in der falschen Gangphase. Die Norm der Plantarflexion beträgt im Loading response 5° . Die maximale Plantarflexion beträgt bei der ersten Datenerhebung 11.43° . Somit herrscht bei der ersten Messung eine exzessive Plantarflexion im Loading response. Für die exzessive Plantarflexion im Loading response gibt es zwei mögliche Ursachen. Die erste Möglichkeit ist, dass der Fuss direkt Fusssohlenkontakt hat. Die andere Möglichkeit ist, dass der Fuss zu Beginn Fersenkontakt hat, die prätibiale Muskulatur jedoch zu schwach ist, den Fuss in einer Dorsalextension zu halten und direkt in eine Plantarflexion fällt. Der Keilabsatz kann dieses falsche Gangmuster unterstützen. Im weiteren Verlauf der Rehabilitation nähert sich das obere Sprunggelenk der Norm von 5° an. Ab der vierten Messung wird die maximale

Plantarflexion im Initial swing dokumentiert. Wie vorher erwähnt, tritt das absolute Minimum normalerweise im Pre-swing auf. Dies ist im Gangzyklus die Phase vor dem Initial swing. Aus diesem Grund lässt sich schlussfolgern, dass das absolute Minimum verspätet eintritt. Normalerweise bewegt sich das Sprunggelenk im Initial swing von 15° Plantarflexion in Richtung 5° Plantarflexion. Sie beträgt bei der vierten Messung 11.95° und bei der letzten Messung 13.57°. Somit ist die Plantarflexion in der fortgeschrittenen Remodulierungsphase stark erhöht. Rechts wird das absolute Minimum bei jeder Messung im Initial swing dokumentiert. Somit tritt die maximale Plantarflexion ebenfalls verspätet im Gangzyklus auf. Im Verlauf der Rehabilitation nimmt die Plantarflexion im rechten Fussgelenk zu. Bei der letzten Messung wird eine Plantarflexion von 22.74° gemessen. Das rechte sowie das linke obere Sprunggelenk weisen eine stark erhöhte und verspätete Plantarflexion auf.

Laut Götz-Neumann (2016) hat eine stark ausgeprägte Plantarflexion im Initial swing keine weiteren Auswirkungen auf das Gangbild, solange die Hüft- und Kniegelenkflexion ausreichen, um den Fuss vom Boden zu lösen.

Gemäss Kapitel 2.5 tritt das absolute Maximum des oberen Sprunggelenkes im Terminal stance auf. Zu diesem Zeitpunkt herrscht eine Dorsalextension von 10°. Laut Götz-Neumann (2016) sind Abweichungen von 5° physiologisch. Den Ergebnissen zufolge befindet sich die maximale Dorsalextension zwischen 52% und 56% des Gangzyklus und somit im Pre-swing. Der Pre-swing ist die Gangphase nach dem Terminal stance. Aus diesem Grund wird angenommen, dass das absolute Maximum verspätet eintritt. Im Pre-swing herrscht im Fuss normalerweise eine Plantarflexion von 15°. Die Daten zeigen auf, dass sich die Dorsalextension anfangs (22.66°) sowie auch bei fortgeschrittener (18.74°) Remodulierungsphase nicht im Normbereich befindet. Die Ursache für diese Auffälligkeit wird im nächsten Abschnitt erklärt.

Die verspätete maximale Dorsalextension in der Pre-swing Phase ist ein Zeichen dafür, dass ein verlängerter Fersenkontakt im Terminal stance auftritt. Dieser verlängerte Fersenkontakt hat eine Kniegelenksextension im Terminal stance zur Folge. Die erhöhte Kniegelenksextension wird im Kapitel 6.1.3 nochmals genauer thematisiert. Für Götz-Neumann (2016) ist der Grund für eine fehlende Fersenanhebung im

Terminal stance eine Schwäche des M. soleus und somit des M. triceps surae. Syrek et al. (2019) zeigen auf, dass nach einer Achillessehnenruptur in der Remodulierungsphase weiterhin ein Kraftdefizit des M. triceps surae vorhanden ist. Eine Schwäche kann durch eine Inaktivität entstehen. Eine fehlende exzentrisch kontrollierende Kraft des M. soleus führt zu einer reduzierten tibialen Stabilität. (Götz-Neumann, 2016) Eine zusätzliche These für eine exzessive Dorsalextension kann die verlängerte Achillessehne nach einer Ruptur darstellen. Viele Studien dokumentieren eine Verlängerung der Achillessehne nach einer Ruptur in Kombination mit einer erhöhten Dorsalextension. Die Forschenden haben die Korrelation zwischen der Länge der Achillessehne und der Gangkinematik untersucht. Sie haben jedoch schwache bis mässige Resultate gefunden. (Brorsson et al., 2017; Kangas et al., 2007; Mortensen et al., 1999) Rosso et al. (2013) beschreiben ebenfalls einen mangelhaften Zusammenhang zwischen der Länge der Achillessehne und der Dorsalextension im oberen Sprunggelenk.

Das absolute Maximum des rechten Fussgelenkes tritt zwischen 50% und 52% des Gangzyklus auf. Bei der ersten Messung kommt es zu einer leicht verspäteten Dorsalextension. Dies hängt, wie im oberen Abschnitt erklärt, mit der verspäteten Ferseenanhebung zusammen und hat eine erhöhte Dorsalextension zur Folge. Im weiteren Verlauf der Rehabilitation tritt das absolute Maximum am Ende des Terminal stance auf und befindet sich somit im Normbereich.

6.1.3 Sagittalebene Knie

Das absolute Minimum des Kniegelenkes befindet sich laut Kapitel 2.5 normalerweise im Terminal swing. In dieser Phase befindet sich das Knie in 0° bis 5° Flexion. Alle Messungen des linken Knies zeigen auf, dass sich das absolute Minimum im Terminal stance befindet und somit nicht in der vorgesehenen Gangphase. Der Normwert beträgt im Terminal stance 5° Flexion. Die erste Messung weicht mit 10.74° Extension stark von diesem Wert ab. Laut Konrads et al. (2018) beträgt die physiologische Extensionsfähigkeit des Knies in Ruhe zwischen 5° und 10°. Aus diesem Grund kann gesagt werden, dass sich das Knie während des Gehens bei der ersten Messung am Ende des möglichen Bewegungsausmasses befand. In der Terminologie bezeichnet man dieses Ausmass an Bewegung während des Gehens als

Hyperextension und wertet dies pathologisch. Obwohl sich die Knieextension im Verlauf der Rehabilitation verringert, weist das Knie bei der letzten Messung weiterhin eine Hyperextension von 3.52° auf. Das linke Knie nähert sich im Verlauf der Remodulierungsphase dem Normwert an. Es besteht jedoch weiterhin eine Differenz von 8.5° zwischen dem Ist-Wert und dem Soll-Wert. Zusätzlich befindet sich das absolute Minimum am Ende der Remodulierungsphase weiterhin nicht in der korrekten Gangphase. Aus diesem Grund wird das absolute Minimum zum letzten Messzeitpunkt als auffällig bezeichnet.

Eine mögliche Ursache für die Hyperextension ist eine Schwäche vom M. quadriceps. Oft liegt der Grund für eine Hyperextension im Terminal stance bei einer gestörten Propriozeption. (Götz-Neumann, 2016) Die Studie von Bressel et al. (2004) zeigt auf, dass Personen nach einer Achillessehnenruptur eine verminderte Propriozeption besitzen. Ebenfalls spielt die Position des Fusses im Terminal stance eine Rolle. Wird die Ferse zu diesem Zeitpunkt nicht vom Boden angehoben, kompensiert das Knie diesen falschen Bewegungsablauf mit einer Kniegelenksexension. Das fehlende Abheben des Fusses im Terminal stance trifft bei der Probandin zu. Durch die Hyperextension besteht das Risiko, dass die posterioren Kniegelenksstrukturen verletzt werden. (Götz-Neumann, 2016)

Das absolute Minimum des rechten Knies befindet sich bei den ersten zwei Messungen, wie beim linken Knie, im Terminal stance. Wie bereits beschrieben, ist eine Flexion von 5° die Norm. Die ersten beiden Ergebnisse weichen leicht von diesen 5° ab. Dies ändert sich jedoch ab der dritten Messung. Das rechte Kniegelenk verhält sich ab diesem Zeitpunkt unauffällig im Terminal stance. Das absolute Minimum verschiebt sich ab dem 20.12.2018 in den Terminal swing und tritt somit zum richtigen Zeitpunkt auf. Die Daten am Ende der Remodulierungsphase befinden sich alle im Normbereich. Somit verhält sich das absolute Minimum beim gesunden Knie unauffällig.

Das absolute Maximum im Kniegelenk misst man im Initial swing. Das Knie weist in dieser Phase eine Flexion von 60° auf. Bei den ersten zwei Messungen befindet sich das absolute Maximum des linken Knies im Mid swing. In dieser Phase sollte das

Knie in einer Flexion von 25° sein. Mit den Werten 60.91° und 72.10° weist das Knie eine exzessive Flexion auf. Aufgrund dessen ist anzunehmen, dass das absolute Maximum beim linken Kniegelenk bei den ersten zwei Messzeitpunkten verspätet eintritt. Ab dem dritten Messzeitpunkt befindet sich das absolute Maximum des linken Kniegelenkes bei 75% des Gangzyklus und somit im Initial swing. Wie weiter oben erwähnt, ist der Normwert des Initial swing 60° Flexion. Die letzte Messung in der fortgeschrittenen Remodulierungsphase weist eine Flexion von 66.55° auf. Dies ist eine leichte Abweichung vom Normwert. Das absolute Maximum des rechten Kniegelenkes befindet sich während allen Messungen im Initial swing. Das absolute Maximum zeigt sich in der korrekten Gangphase. Bei der ersten Messung beträgt die Flexion 61.78° und bei der letzten 66.22° . Dies ist ebenfalls eine leichte Abweichung vom Normwert.

Die Tendenz der Flexion ist im Verlauf der Messungen in beiden Kniegelenken steigend. Am Ende besteht bei beiden Knien eine leichte Abweichung von circa 6° . Götz-Neumann (2016) erklärt eine Schwäche im M. quadriceps oder ein Hypertonus in der ischiocruralen Muskulatur als mögliche Ursache für eine erhöhte Flexion. Des Weiteren kann eine erhöhte Plantarflexion im Initial swing einen Einfluss auf die Knieflexion haben. Wie im Kapitel 6.1.2 beschrieben, weisen beide Füße am Ende der Remodulierungsphase eine erhöhte Plantarflexion auf. Damit der Fuss nicht am Boden nachgezogen wird, kompensiert dies der Körper mit einer erhöhten Kniegelenksflexion. Laut Götz-Neumann (2016) wird die leicht erhöhte Kniegelenksflexion zu diesem Zeitpunkt nicht kritisch eingestuft, da sie keine grosse mechanische Auswirkung auf den Körper hat.

6.1.4 Beantwortung der Fragestellung

Die Achillessehnenruptur ist die häufigste Sehnenverletzung. Ein wesentlicher Faktor für eine nicht vollständige Genesung ist ein schlechtes Gangmuster. Die vorliegende Arbeit greift die Veränderung der Gangparameter in der Remodulierungsphase nach einer konservativ behandelten Achillessehnenruptur auf. Folgende Fragestellung wird in dieser Arbeit beantwortet:

«Welche Variable der Ganganalyse ist relevant für das Gehen nach einer Achillessehnenruptur und inwiefern verändert sich diese in der Rehabilitation?»

Wie im Kapitel 4.2 beschrieben hat man sich für die maximale Dorsalextension, Plantarflexion, Inversion und Eversion beim Fussgelenk sowie die maximale Flexion und Extension beim Kniegelenk entschieden.

In der oben analysierten Single Case Study kann man bezüglich der Messungen einen Vergleich zwischen der anfänglichen und der fortgeschrittenen Remodulierungsphase machen. Es finden weder Messungen in der Akut- noch in der Proliferationsphase statt. Die Eversion liegt im linken und rechten Bein bei allen Messungen im Normbereich.

Bei der ersten Messung ist die Hauptursache für das veränderte Gangbild im linken Bein die Schwäche des M. soleus beziehungsweise des M. triceps surae. Diese Schwäche hat verschiedene Auswirkungen auf die Variablen. Durch die Schwäche gibt es eine verspätete Fersenabhebung im Terminal stance. Dies führt wiederum zu einer verspäteten und erhöhten maximalen Dorsalextension in der Pre-swing Phase. Die fehlende Fersenabhebung hat eine Auswirkung auf die verfrühte exzessive maximale Knieextension, welche im Terminal stance vorzufinden ist. Die maximale Knieextension kann zusätzlich durch eine Schwäche des M. quadriceps und einer reduzierten Propriozeption verstärkt werden. Die maximale Knieflexion ist zu Beginn der Remodulierungsphase im Mid swing vorzufinden. Diese erhöhte Variable hat jedoch keinerlei Auswirkung auf den Gang. Zu Beginn der Remodulierungsphase trägt die Probandin links einen Schuh mit einem 1cm-Keilabsatz. Dieser Keilabsatz führt zu einer verfrühten und erhöhten Plantarflexion im Loading response, da die Probandin mit dem Keilabsatz nicht abrollen kann. Dies führt entweder zu einem Foot Slap oder einem vollständigen Fusssohlenkontakt. Zusätzlich löst der Keilabsatz in der Pre-swing Phase eine leicht erhöhte Inversion aus.

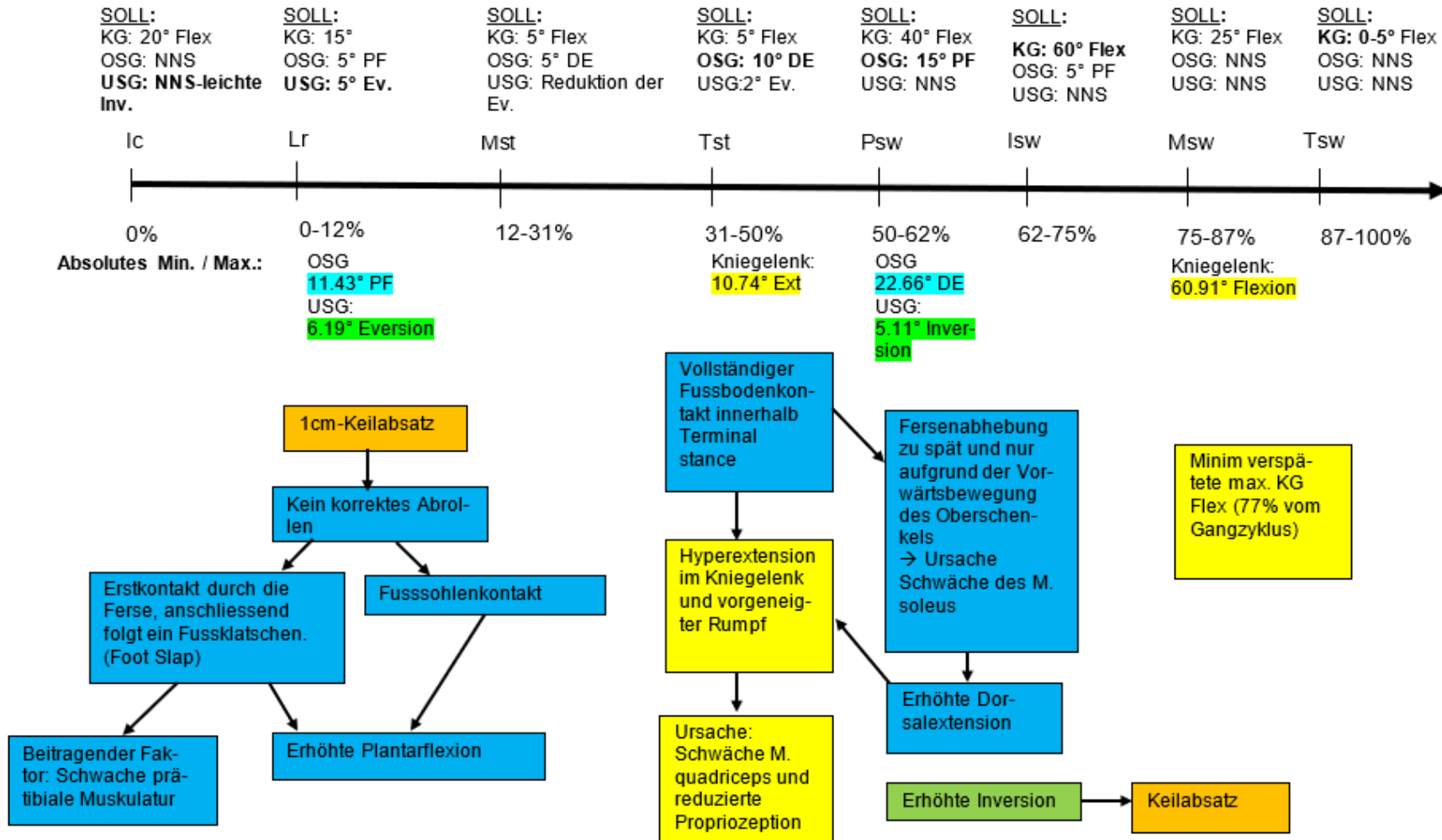
Zu Beginn der Remodulierungsphase ist auch rechts eine Schwäche des M. soleus beziehungsweise des M. triceps surae vorzufinden. Somit lässt sich aus den Daten ableiten, dass es auch hier zu einer verspäteten Fersenabhebung kommt und somit

zu den obenerwähnten Veränderungen der Variablen Dorsalextension und Knieextension. Zusätzlich ist beim rechten Bein ersichtlich, dass die verspätete maximale Dorsalextension auch eine Auswirkung auf die maximale Plantarflexion hat. Diese tritt verspätet im Initial swing auf. Jedoch hat dies keine Auswirkung auf den Gang, solange eine genügende Knie- und Hüftflexion vorhanden ist. Beim rechten Bein ist auch eine erhöhte Inversion in der Pre-swing Phase ersichtlich. Dies kann durch eine mögliche Hypertonie des M. tibialis anterior, M. tibialis posterior, M. soleus oder durch eine Schwäche des M. peroneus longus und brevis erklärt werden. Die maximale Knieflexion liegt zu Beginn der Remodulierungsphase bereits während des Initial swing in der Norm.

In der fortgeschrittenen Remodulierungsphase besteht im linken Bein weiterhin die Schwäche des M. soleus und somit eine fehlende Fersenabhebung im Terminal stance. Dies führt weiterhin zu einer verspäteten und erhöhten Dorsalextension im Pre-swing und zu einer Knieextension im Terminal stance. Die maximale Plantarflexion zeigt sich neu im Initial swing und tritt somit verspätet und erhöht auf. Dies führt dazu, dass die maximale Kniegelenksflexion auch im Initial swing erhöht ist. Die Inversion liegt seit dem Wechsel in den eigenen Schuh ohne Keilabsatz in der Norm.

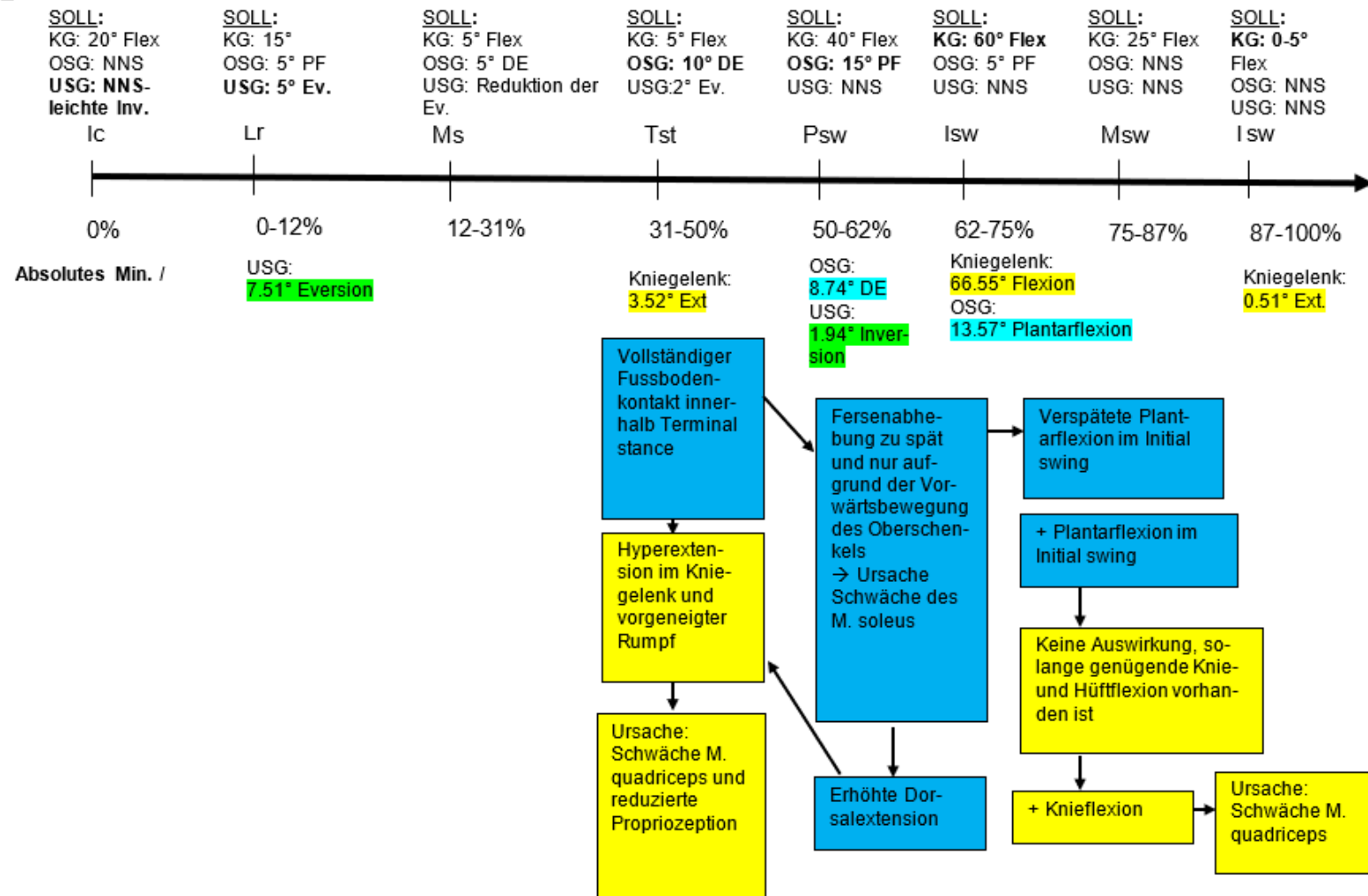
Beim rechten Bein ist in der fortgeschrittenen Remodulierungsphase ersichtlich, dass weiterhin eine erhöhte Inversion in der Pre-swing Phase sowie eine erhöhte Plantarflexion und Knieflexion im Initial swing besteht. Die Erklärungen für diese Abweichungen sind noch immer dieselben wie bei der ersten Messung. Die restlichen Abweichungen der ersten Messung haben sich erübrigt und liegen bei der fünften Datenerhebung innerhalb der Norm.

Abbildung 10: Zusammenhänge der Variable bei der ersten Messung auf der linken Seite



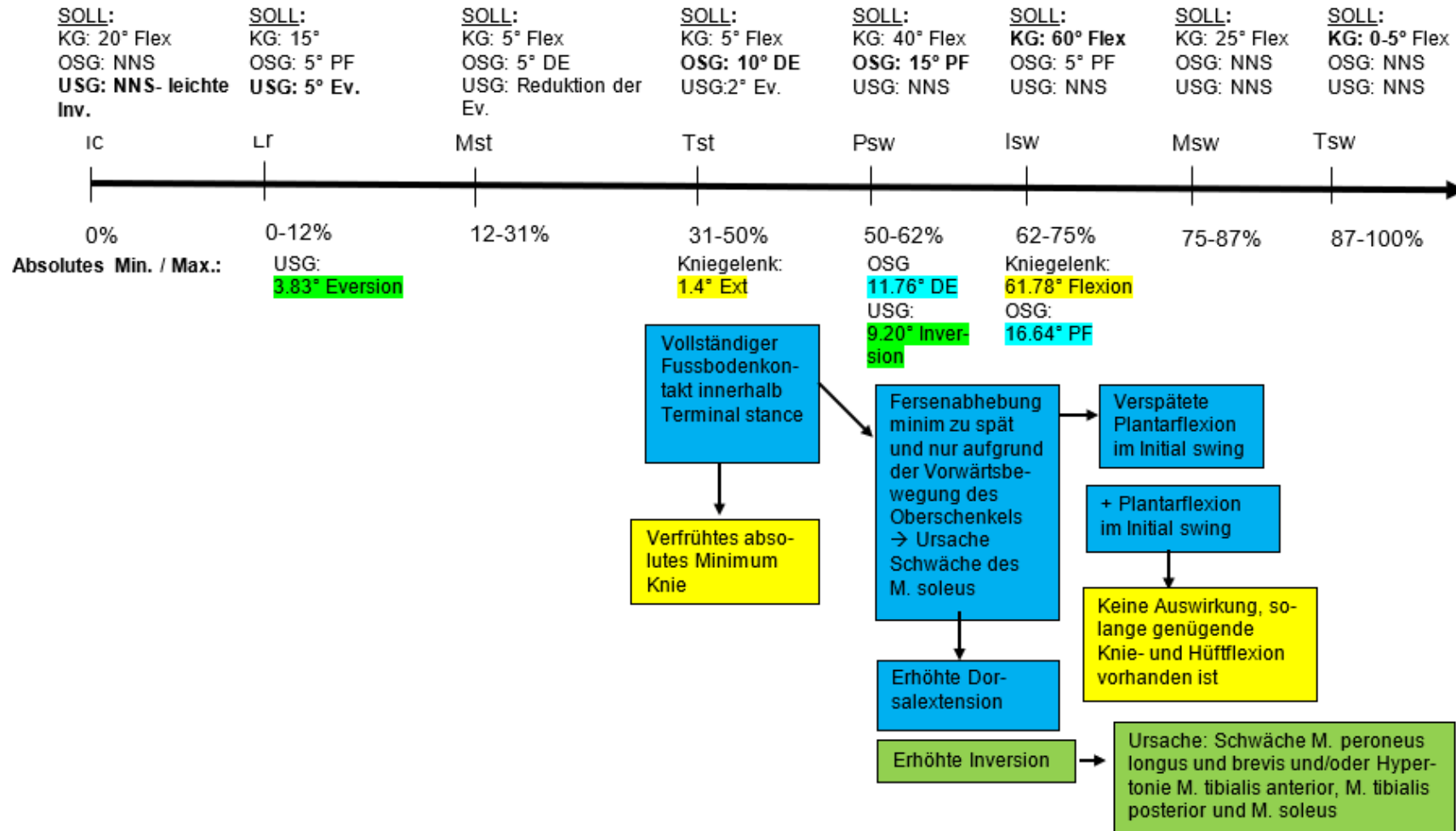
Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 11: Zusammenhänge der Variable bei der letzten Messung auf der linken Seite



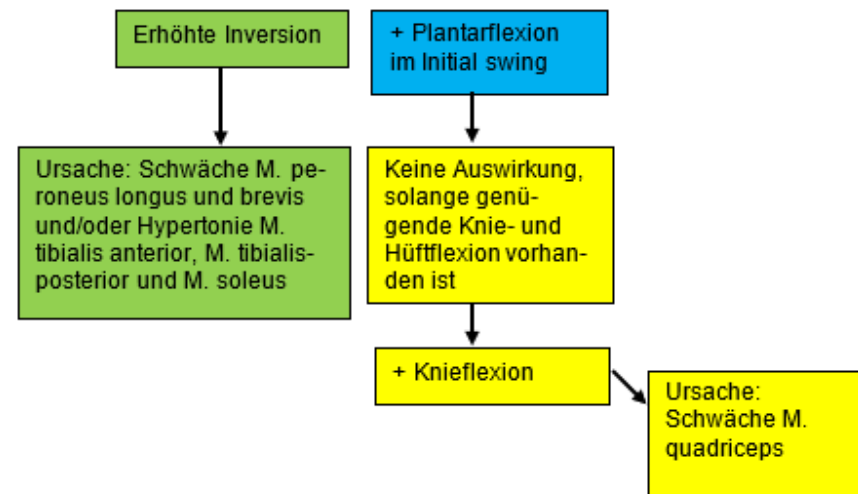
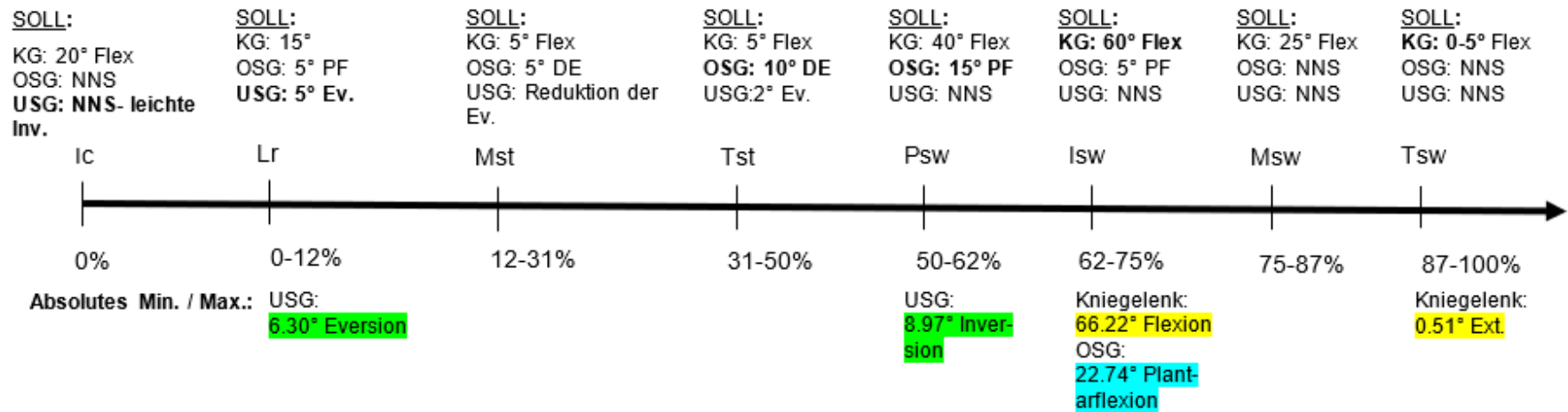
Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 12: Zusammenhänge der Variable bei der ersten Messung auf der rechten Seite



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 13: Zusammenhänge der Variable bei der letzten Messung auf der rechten Seite



Quelle: Eigene Darstellung

6.2 Transfer in die Physiotherapie

Diese Studie zeigt auf, wie wichtig Daten aus dem Ganglabor für die Physiotherapie sind. Es können dabei Abweichungen festgestellt werden, die von Auge nicht oder nur schwierig wahrzunehmen sind. Die Therapeutinnen und Therapeuten werden mit diesen Daten darauf aufmerksam gemacht, auf welche Gelenke bei einer Achillessehnenruptur besonders geachtet werden muss. Diese Studie zeigt auch, dass eine genaue Ganganalyse in der Physiotherapie von grosser Relevanz und unerlässlich ist.

Die Literatur in Kapitel 2.4 besagt, dass die Achillessehne vier Monate nach der Ruptur wieder sportlich belastbar ist. Die Ergebnisse zeigen jedoch auf, dass sechs Monate posttraumatisch weiterhin Auffälligkeiten im Gang bestehen. Da laut Twiss (o. J.) die Remodulierungsphase bis zu einem Jahr andauern kann, sind diese Auffälligkeiten nicht schlimm. Man muss jedoch in der Therapie bedenken, dass eine erhöhte Verletzungsgefahr besteht, solange sich die Werte nicht der Norm annähern. Für die Physiotherapie ist es wichtig zu erkennen, wo die Hauptursache des Problems liegt. Hierfür werden die Abbildungen 10 bis 13 zur Hilfe genommen. In den Darstellungen ist ersichtlich, dass die Schwäche des M. soleus und somit auch des M. triceps surae grosse Folgen haben kann. Durch die verspätete Dorsalextension gerät das Kniegelenk in eine Extension, die Plantarflexion im Fuss tritt verspätet ein und dies hat wiederum einen Einfluss auf die Kniegelenksflexion. Diese Folgen können durch eine Schwäche des M. quadriceps unterstützt werden. Dies ist ersichtlich bei der Hyperextension im Knie während dem Terminal stance oder der erhöhten Kniegelenksflexion im Initial swing. Eine zusätzlich schlechte Propriozeption kann das schlechte Gangmuster verstärken. Aus diesem Grund sind folgende Themen in der Remodulierungsphase nach einer Achillessehnenruptur in der Physiotherapie relevant: Die Kräftigung des M. triceps surae, die Kräftigung des M. quadriceps und ein Aufbau der Propriozeption. In der Physiotherapie ist es wichtig die entsprechenden Assessments durchzuführen, um zu sehen, ob die oben genannten Problematiken zutreffen.

Des Weiteren ist wichtig anzumerken, dass die gesunde Seite in der Therapie nicht vernachlässigt werden soll. Dies zeigt die erhöhte Inversion im rechten Fussgelenk

sowie auch die erhöhte Plantarflexion und die erhöhte Kniegelenksflexion. Dies ist in den Abbildungen 10 bis 13 ersichtlich. Wenn man auf das gesunde Bein eingeht, kann ebenfalls das Verletzungsrisiko gesenkt werden.

6.3 Limitationen

Dieses Kapitel geht auf die Limitationen in dieser Studie ein. Zum einen werden Verbesserungsvorschläge in der Methodik angebracht, zum anderen werden die inhaltlichen Limitationen thematisiert. Trotz diesen Limitationen hat diese Studie eine grosse Relevanz für die Forschung. Es konnte aufgezeigt werden, welche Variable einen grossen Einfluss auf das Gehen nach einer Achillessehnenruptur hat und wie sich diese in der Rehabilitation verhält.

6.3.1 Methodische Limitation

Das Vorgehen während der Literaturrecherche ist zufriedenstellend, da die Literatur mithilfe des AICA-Rasters beurteilt wurde. Das Datenerhebungsverfahren weist alle drei Gütekriterien auf: Objektivität, Reliabilität und Validität.

Bei der Datenanalyse wurden die Daten mit dem vorgeschriebenen Gangtempo genauer untersucht. Dies ermöglichte es den Forschenden, die Daten der verschiedenen Messzeitpunkten miteinander zu vergleichen. Das vorgeschriebene Tempo kann, muss aber nicht mit dem Schrittempo der Probandin, welches sie normalerweise im Alltag verwendet, übereinstimmen. Aus diesem Grund kann eine leichte Verzerrung der Daten bestehen.

Eine weitere methodische Limitation ist die Stichprobengrösse. Wie in Kapitel 3.1 beschrieben, handelt es sich bei einer Single Case Study um eine explorative Forschungsmethode. Die Ergebnisse dieser Studien können nicht auf die Allgemeinheit übertragen werden. Jedoch liefern die Ergebnisse Hypothesen, die für die weiterführende Forschung relevant sind.

6.3.2 Inhaltliche Limitation

Die erfassten Daten beziehen sich auf die Remodulierungsphase. Aus diesem Grund ist es nicht möglich eine Aussage darüber zu machen, wie sich die Variable in der Akut- und Proliferationsphase verhält.

Im Diskussionskapitel wird versucht die Auffälligkeiten, die in der Remodulierungsphase bestehen, zu erklären. Dies ist nur auf theoretischer Ebene möglich, da beispielsweise keine Daten zur Muskelkraft oder der Propriozeption erfasst wurden.

6.4 Empfehlung für weiterführende Forschung

Die aufgezeigten Limitationen in Kapitel 6.5 ermöglichen es eine Empfehlung für die weiterführende Forschung aufzustellen. Zum einen ist eine Datenanalyse mit einer grösseren Fallzahl zu empfehlen. Dadurch können die Ergebnisse des Ganges nach einer Achillessehnenruptur generalisiert werden. Zum anderen wäre es von Vorteil Daten in der Akut- und der Proliferationsphase zu erfassen. Somit wäre eine vollumfängliche Aussage über den Verlauf der Variable in der Rehabilitation möglich. Es wird ermöglicht Abweichungen frühzeitig zu erkennen. Der Transfer in die Physiotherapie kann zeitgemäss geschehen. Durch den frühzeitigen Transfer könnten gewisse Abweichungen bereits vor der Remodulierungsphase beeinflusst werden. Des Weiteren wäre es in einer weiterführenden Arbeit interessant, die Daten mit dem selbstgewählten Gangtempo zu analysieren und mit den Abweichungen dieser Studie zu vergleichen. So wird ersichtlich, ob gewisse Abweichungen schwächer sind, stärker auftreten oder nicht vorhanden sind. Damit ein besserer Zusammenhang zwischen den Abweichungen und deren Ursachen erkannt werden kann, ist es anzuraten, Daten bezüglich der Muskelkraft zu erfassen. Die Erhebung der Muskelkraft würde vor allem beim M. triceps surae und M. quadriceps Sinn ergeben. Um eine vollumfängliche Aussage machen zu können, wird jedoch empfohlen die Kraft der grossen Fuss- und Kniegelenkmuskulatur zu erfassen.

6.5 Fazit

Diese Single Case Study zeigt auf, dass die Hauptursache für die veränderten Variablen im betroffenen Bein während des Ganges, vor allem die Schwäche des M. soleus beziehungsweise der M. triceps surae ist. Die auffälligste dieser Variablen, welche durch die Schwäche des M. soleus entsteht, ist die exzessive maximale Dorsextension in der Pre-swing Phase.

Die Ergebnisse verdeutlichen, wie wichtig es ist den M. soleus beziehungsweise den M. triceps surae zu stärken, um den Gang wieder zu normalisieren. Wie im Kapitel 1.1 bereits beschrieben, ist es laut Zellers, Christensen et al. (2019) von Bedeutung sich innerhalb eines Jahres von einer Achillessehnenruptur zu rehabilitieren, um weitere Einschränkungen zu verhindern.

Aufgrund der methodischen Ausrichtung kann man die Ergebnisse der oben behandelten Single Case Study nicht verallgemeinern. Jedoch ist es ein guter Forschungsansatz. Es werden Studien mit mehr Probanden und Messzeitpunkten in der Akut- sowie Proliferationsphase benötigt, um die Ergebnisse dieser Single Case Study zu bestätigen und zu verfeinern.

Aus physiotherapeutischer Sicht kann man anhand dieser Single Case Study gut erkennen, wie wichtig der Gang nach einer Achillessehnenruptur ist. Durch die Ganganalyse kann man Abweichungen erkennen und somit wahrscheinliche Hauptprobleme erfassen. Dadurch kann ein bestmöglicher Outcome für den Patienten erzielt und weitere Verletzungen verhindert werden.

Literaturverzeichnis

- Bressel, E., Larsen, B. T., McNair, P. J., & Cronin, J. (2004). Ankle joint proprioception and passive mechanical properties of the calf muscles after an Achilles tendon rupture: A comparison with matched controls. *Clinical Biomechanics*, 19(3), 284–291. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2003.12.008>
- Brorsson, A., Willy, R. W., Tranberg, R., & Grävare Silbernagel, K. (2017). Heel-Rise Height Deficit 1 Year After Achilles Tendon Rupture Relates to Changes in Ankle Biomechanics 6 Years After Injury. *The American Journal of Sports Medicine*, 45(13), 3060–3068. <https://doi.org/10.1177/0363546517717698>
- Centmaier-Molnar, V., & Boger, A. (2019). *Pathologien in der orthopädischen Fusschirurgie und ihr Bezug auf die physiotherapeutische Nachbehandlung*.
file:///C:/Users/soray/AppData/Local/Temp/Ortho_Trauma%20Fuss%20V.%20Centmaier-Molnar,%20A.%20Bog-ger%20201812118%20NEU.pdf
- Costa, M. L., Kay, D., & Donell, S. T. (2005). Gait abnormalities following rupture of the tendo Achillis: A PEDOBAROGRAPHIC ASSESSMENT. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, 87-B(8), 1085–1088. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.87B8.16540>
- Don, R., Ranavolo, A., Cacchio, A., Serrao, M., Costabile, Iachelli, M., Camerota, F., Frascarelli, M., & Santilli, V. (2007). Relationship between recovery of calf-muscle biomechanical properties and gait pattern following surgery for achilles tendon rupture. *Clinical Biomechanics*, 22(2), 211–220. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2006.10.001>
- Ganestam, A., Kallemose, T., Troelsen, A., & Weisskirchner Barfod, K. (2016). Increasing incidence of acute Achilles tendon rupture and a noticeable decline in surgical treatment from 1994 to 2013. A nationwide registry study of 33,160 patients. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 24(12), 3730–3737. <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3544-5>
- Götz-Neumann, K. (2016). *Gehen verstehen: Ganganalyse in der Physiotherapie* (4. Auflage). Georg Thieme Verlag.

- Grävare Silbernagel, K., Willy, R., & Davis, I. (2012). Preinjury and Postinjury Running Analysis Along With Measurements of Strength and Tendon Length in a Patient With a Surgically Repaired Achilles Tendon Rupture. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 42(6), 521–529.
<https://doi.org/10.2519/jospt.2012.3913>
- Gustafsson, J. (2017). *Single case studies vs. Multiple case studies: A comparative study*. 15.
- Heilmann, F. (2015). *An investigation of the vertical ground reaction forces before and after ten minutes of walking over uneven, compliant floor*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4290.4486>
- Heimbert Dittrich, Schimmack, M., & Siemens, C.-H. (2019). *Ortopädische Biomechanik* (Springer Vieweg).
- Kangas, J., Pajala, A., Ohtonen, P., & Leppilähti, J. (2007). *Achilles Tendon Elongation after Rupture Repair: A Randomized Comparison of 2 Postoperative Regimens*.
https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0363546506293255?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori:rid:crossref.org&rfr_dat=cr_pub%20%20pubmed
- Karaaslan, F., Mermerkaya, M. U., Çıraklı, A., Karaoğlu, S., & Duygulu, F. (2016). Surgical versus conservative treatment following acute rupture of the Achilles tendon: Is there a pedobarographic difference? *Therapeutics and Clinical Risk Management*, Volume 12, 1311–1315. <https://doi.org/10.2147/TCRM.S116385>
- Kirschak, G. (2009). *Traumatologie für Physiotherapeuten* (2. Auflage). Thieme.
- Koller, T. (2019). *Rehabilitation von spezifischem Gewebe* (1. Aufl.). Springer.
- Konrads, C., Baumann, B., & Barthel, T. (2018). Knie. In *Klinische Tests und Untersuchung in Orthopädie und Unfallchirurgie* (S. 89–108). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-662-55341-1_6
- Krause, F. (2019). Achillessehnenruptur – Nutzen der Cochrane Library. *Schweizerische Ärztezeitung*, 100(47), 1565–1567. <https://doi.org/10.4414/saez.2019.18399>
- Lee, L., & Alois, C. (2020). Spotlight on Fibromyalgia: Updates on Diagnosis and Clinical Management. *Clinical Advisor*, 29–34.

- Lemme, N. J., Li, N. Y., DeFroda, S. F., Kleiner, J., & Owens, B. D. (2018). Epidemiology of Achilles Tendon Ruptures in the United States: Athletic and Nonathletic Injuries From 2012 to 2016. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 6(11), 232596711880823. <https://doi.org/10.1177/2325967118808238>
- Leppilahti, J. (2019). *Achilles tendinopathy and tendon rupture* [Text]. EBM Guidelines; Duodecim Publishing Company Ltd. https://www.ebm-guidelines.com/ebmq/ltk.free?p_artikkeli=ebm00430
- Leumann, A., & Iselin, L. (2015). Sehnen – Morphologie, Biologie und Biomechanik. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 63(4), 6–10.
- Manent, A., López, L., Coromina, H., Santamaría, A., Domínguez, A., Llorens, N., Sales, M., & Videla, S. (2019). Acute Achilles Tendon Ruptures: Efficacy of Conservative and Surgical (Percutaneous, Open) Treatment—A Randomized, Controlled, Clinical Trial. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, 58(6), 1229–1234. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2019.02.002>
- Marcolin, G., Buriani, A., Balasso, A., Villaminar, R., & Petrone. (2015). *Gait Analysis Before and After Achilles Tendon Surgical Suture in a Single-Subject Study: A Case Report | Elsevier Enhanced Reader*. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2014.11.014>
- Mortensen, N. H. M., Skov, O., & Jensen, P. E. (1999). Early Motion of the Ankle After Operative Treatment of a Rupture of the Achilles Tendon. A Prospective, Randomized Clinical and Radiographic Study*: *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 81(7), 983–990. <https://doi.org/10.2106/00004623-199907000-00011>
- Plesch, C., Sieven, R., & Trzolek, D. (2009). *Handbuch Sportverletzungen* (3. Auflage). Meyer & Meyer.
- Ris, I., & Preusse-Bleuler, B. (2015). *Arbeitsinstrument für ein Critical Appraisal (AICA) eines Forschungsartikels*. ZHAW.
- Rosso, C., Vavken, P., Polzer, C., Buckland, D. M., Studler, U., Weisskopf, L., Lottenbach, M., Müller, A. M., & Valderrabano, V. (2013). Long-term outcomes of muscle volume and Achilles tendon length after Achilles tendon ruptures. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 21(6), 1369–1377. <https://doi.org/10.1007/s00167-013-2407-1>
- Schrödel, S. A. (2008). *Konzept für ein Ganglabor im Spastiker-Zentrum München*. Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie der Technischen Universität München.

- Schünke, M., Schulte, E., & Schumacher, U. (2014). *Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem* (M. Voll & K. Wesker, Hrsg.; 4., überarbeitete und erweiterte Auflage). Georg Thieme Verlag.
- Sommer, B., & Graf, D. E. (2019). *Untersuchung von Stabilschuhen der medizinischen Versorgung*. 18.
- Speedtsberg, M. B., Kastoft, R., Barfod, K. W., Penny, J. Ø., & Bencke, J. (2019). Gait Function and Postural Control 4.5 Years After Nonoperative Dynamic Treatment of Acute Achilles Tendon Ruptures. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 7(6), N.PAG-N.PAG. <https://doi.org/10.1177/2325967119854324>
- Suppé, B., Grillo, T., & Spirgi-Gantert, I. (Hrsg.). (2014). *FBL Klein-Vogelbach functional kinetics: Die Grundlagen ; Bewegungsanalyse, Untersuchung, Behandlung* (7., vollständig überarbeitete Auflage). Springer.
- Syrek, M., Śmigielski, R., Staniszewski, M., & Wychowański, M. (2019). The characteristics of plantar flexors and dorsiflexors strength in patients after complete three-bundle Achilles tendon reconstructions The characteristics of plantar flexors and dorsiflexors strength in patients after complete three-bundle Achilles tendon reconstruction. *Advances in Rehabilitation*, 2, 37–45. <https://doi.org/10.5114/areh.2019.85022>
- Tengman, T., & Riad, J. (2013). Three-Dimensional Gait Analysis Following Achilles Tendon Rupture With Nonsurgical Treatment Reveals Long-Term Deficiencies in Muscle Strength and Function. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 1(4), 232596711350473. <https://doi.org/10.1177/2325967113504734>
- Thermann, H., Hüfner, T., & Tscherne, H. (2000). *Zum Thema: Sehnenverletzungen*. 16.
- Twiss, M. (o. J.). *Physiotherapie bei Muskelverletzungen und Sehnenverletzungen*. Twiss-Therapie. <https://www.twiss-therapie.ch/img/grundlagendokumenten/91553-gld-diana-physio-bei-muskelverl-190417.pdf>
- van den Berg, F., & Cabri, J. (Hrsg.). (2016). *Das Bindegewebe des Bewegungsapparates verstehen und beeinflussen* (4. Auflage). Thieme.
- Zellers, J. A., Christensen, M., Kjær, I. L., Rathleff, M. S., & Silbernagel, K. G. (2019). Defining Components of Early Functional Rehabilitation for Acute Achilles Tendon Rupture: A Systematic Review. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 7(11), 1–22. <https://doi.org/10.1177/2325967119884071>

Zellers, J. A., Tucker, L. A., Higginson, J. S., Manal, K., & Grävare Silbernagel, K. (2019). Changes in gait mechanics and muscle activity with wedge height in an orthopaedic boot. *Gait & Posture*, 70, 59–64. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.02.027>

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Messung einer Schrittlänge | 17 |
| Abbildung 2: Verlauf der Bodenreaktionskraft bei einer gesunden Person..... | 18 |
| Abbildung 3: Schuhwechsel, Tragedauer der Schuhe und die verschiedenen Messzeitpunkte..... | 24 |
| Abbildung 4: Verlauf der Extrema am linken Fussgelenk im vorgeschriebenen Schritttempo | 32 |
| Abbildung 5: Verlauf der Extrema am rechten Fussgelenk im vorgeschriebenen Schritttempo | 33 |
| Abbildung 6: Verlauf der Extrema am linken Fussgelenk im vorgeschriebenen Schritttempo | 35 |
| Abbildung 7: Verlauf der Extrema am rechten Fussgelenk im vorgeschriebenen Schritttempo | 36 |
| Abbildung 8: Verlauf der Extrema am linken Kniegelenk im vorgeschriebenen Schritttempo | 38 |
| Abbildung 9: Verlauf der Extrema am rechten Kniegelenk im vorgeschriebenen Schritttempo | 39 |
| Abbildung 10: Zusammenhänge der Variable bei der ersten Messung auf der linken Seite | 49 |
| Abbildung 11: Zusammenhänge der Variable bei der letzten Messung auf der linken Seite | 50 |
| Abbildung 12: Zusammenhänge der Variable bei der ersten Messung auf der rechten Seite | 51 |
| Abbildung 13: Zusammenhänge der Variable bei der letzten Messung auf der rechten Seite | 52 |
| Abbildung 14: Links Vacoped mit Keilsohle, rechts Vacoped in neutraler Position... | 66 |
| Abbildung 15: Ergebnisse Zellers, Tucker et al. | 67 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Zusammenfassung der Gangphasen mit den entsprechenden Winkel des Fuss- und Kniegelenkes. | 16 |
| Tabelle 2: Keywords, die während der Literaturrecherche benutzt wurden | 20 |
| Tabelle 3: Ganganalyseergebnisse der Studien angeordnet nach Messzeitpunkten | 29 |
| Tabelle 4: Ergebnisse in der Frontalebene des Fussgelenkes | 68 |
| Tabelle 5: Differenz zwischen den einzelnen Messungen sowie der ersten und letzten Messung in der Frontalebene des Fussgelenkes..... | 68 |
| Tabelle 6: Vergleich des rechten und linken Fussgelenkes zu den verschiedenen Messzeitpunkten in der Frontalebene..... | 69 |
| Tabelle 7: Ergebnisse in der Sagittalebene des Fussgelenkes | 69 |
| Tabelle 8: Differenz zwischen den einzelnen Messungen sowie der ersten und letzten Messung in der Sagittalebene des Fussgelenkes..... | 70 |
| Tabelle 9: Vergleich des rechten und linken Fussgelenkes zu den verschiedenen Messzeitpunkten in der Sagittalebene..... | 70 |
| Tabelle 10: Ergebnisse in der Sagittalebene des Kniegelenkes | 71 |
| Tabelle 11: Differenz zwischen den einzelnen Messungen sowie der ersten und letzten Messung in der Sagittalebene des Kniegelenkes | 71 |
| Tabelle 12: Vergleich des rechten und linken Kniegelenkes zu den verschiedenen Messzeitpunkten in der Sagittalebene..... | 72 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|------|-----------------------|
| DE | Dorsalextension |
| EV | Eversion |
| EXT | Extension |
| FLEX | Flexion |
| IC | Initial contact |
| INV | Inversion |
| ISW | Initial swing |
| KG | Kniegelenk |
| LR | Loading response |
| MAX | Maximum |
| M. | Musculus |
| MIN | Minimum |
| MST | Mid stance |
| MSW | Mid swing |
| NNS | Neutral-Null-Stellung |
| OSG | Oberes Sprunggelenk |
| PF | Plantarflexion |
| PSW | Pre-swing |
| TST | Terminal stance |
| TSW | Terminal swing |
| USG | Unteres Sprunggelenk |

Wortzahl

Abstract Deutsch: 192

Abstract Englisch: 202

Arbeit ohne Abstract: 11'570

Danksagung

Wir bedanken uns herzlich bei Frau Dr. Eveline Graf für die Betreuung unserer Bachelorarbeit. Zusätzlich bedanken wir uns herzlichst bei Daniel Fässler und Sabrina Menet für das aufmerksame Durchlesen und Korrigieren unserer Arbeit.

Eigenständigkeitserklärung

„Wir erklären hiermit, dass wir die vorliegende Arbeit selbständig, ohne Mithilfe Dritter und unter Benützung der angegebenen Quellen verfasst haben.“

25. April 2021

Céline Davie

Soraya Martin

Anhang

A Datenerhebung und Verarbeitung

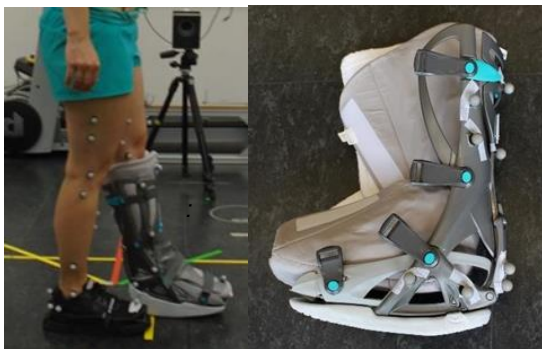
Die gesunden Teilnehmer absolvierten Gehversuche mit dem Künzli, dem Orthotech und dem VACOPed bei einer selbstgewählten Geschwindigkeit und einer langsamen Geschwindigkeit von 1.25 m/s ($\pm 5\%$). Zehn Versuche, bei denen ein Fuss komplett auf einer Kraftmessplatte war, wurden für rechts und links aufgenommen. Die Reihenfolge wurde randomisiert (Abbildung 3).

Die Kinematik wurde anhand eines optoelektronischen Kamerasystems (Vicon Nexus, 240Hz) mit 12 Kameras aufgenommen. Infrarot-reflektierende Marker wurden dazu am Becken, den Beinen und auf den Schuhen angebracht. Anhand einer funktionalen Kalibrierung wurden die Gelenkszentren der Knie- und Hüftgelenke berechnet (List, Gülay, Stoop, & Lorenzetti, 2013).

Für die Schätzung der Kinetik wurde die inverse Dynamik genutzt. Dazu wurden die Daten zweier im Boden versenkten Kraftmessplatten (AMTI, 1200Hz) verwendet, sowie die Kinematik der Körpersegmente gemessen mit dem optoelektronischen Bewegungsanalysesystem und die anthropometrischen Messungen. Die Gehgeschwindigkeit wurde mittels zwei Lichtschranken (MicroGate, Bozen, Italien) in einer bekannten Distanz gemessen.

Von den 10 gemessenen Trials pro Person wurde jeweils der Mittelwert bestimmt. Die ausgewerteten Winkel verstehen sich als Bewegungsumfangsmessungen, während die Momente als Maximalwerte ausgewertet wurden. Die Hauptvariablen wurden mit dem Lilliefors Test auf Normalverteilung geprüft.

Abbildung 14: Links Vacoped mit Keilsohle, rechts Vacoped in neutraler Position



Quelle: Graf & Sommer (2019)

B Resultate Studie

Abbildung 15: Ergebnisse Zellers, Tucker et al.

Effect of Wedging on Gait Biomechanics

| | Wedge Condition | | | p-value | Partial η^2 |
|-----------------------------------|-----------------|------------|-------------|---------|------------------|
| | 0 wedges | 3 wedges | 5 wedges | | |
| Peak ν GRF (N) | 808(149) | 794(135) | 774(125) | 0.019† | 0.301 |
| Peak Knee Extension Power (W) | 69.7(26.3) | 92.4(35.6) | 101.3(45.5) | 0.003** | 0.410 |
| Self-Selected Walking Speed (m/s) | 1.20(0.24) | 1.18(0.25) | 1.17(0.25) | 0.450 | 0.070 |

Pre- to Post-assessment Change Within Limb.

| Variable of Interest | Pre-assessment | Post-assessment | P-value |
|------------------------------------|----------------|-----------------|---------|
| Peak EMG | | | |
| Medial Gastrocnemius | 0.443(0.200) | 0.491(0.173) | 0.300 |
| Lateral Gastrocnemius | 0.484(0.271) | 0.435(0.256) | 0.321 |
| Soleus | 0.434(0.186) | 0.365(0.165) | 0.370 |
| Integrated EMG | | | |
| Medial Gastrocnemius (s^{-1}) | 0.163(0.066) | 0.175(0.061) | 0.487 |
| Lateral Gastrocnemius (s^{-1}) | 0.166(0.080) | 0.154(0.084) | 0.433 |
| Soleus (s^{-1}) | 0.159(0.059) | 0.144(0.073) | 0.592 |
| Gait Mechanics | | | |
| Peak ν GRF (N) | 774(125) | 763(124) | 0.349 |
| Gait Speed (m/s) | 1.16(0.25) | 1.19(0.25) | 0.356 |
| Peak Knee Extension Power (W) | 101.3(45.5) | 89.1(49.3) | 0.267 |

ν GRF =vertical ground reaction force.

Quelle: Zellers, Tucker et al., (2019)

C Ergebnisse Frontalebene Fussgelenk

Bei allen Werten in Tabelle 4, die positiv sind, spricht man von einer Inversion und bei den negativen Zahlen von einer Eversion im unteren Sprunggelenk.

Tabelle 4: Ergebnisse in der Frontalebene des Fussgelenkes

| NW_Ankle links Inversion | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------------|---------|-----|---------------------------------|---------|-----|---------------------------------|---------|-----|---------------------------------|---------|-----|--|--|
| Date | Absolutes Minimum in Gangzyklus | | | Absolutes Maximum in Gangzyklus | | | Absolutes Minimum in Standphase | | | Absolutes Maximum in Standphase | | | | |
| | Mean [°] | Std [°] | %GC | Mean [°] | Std [°] | %GC | Mean [°] | Std [°] | %GC | Mean [°] | Std [°] | %GC | | |
| 20.11.2018 | -6.19 | 1.9 | 6 | 5.11 | 1.3 | 52 | -6.19 | 1.9 | 6 | 5.11 | 1.3 | 52 | | |
| 10.12.2018 | -7.77 | 1.0 | 6 | 4.18 | 0.6 | 53 | -7.77 | 1.0 | 6 | 4.18 | 0.6 | 53 | | |
| 20.12.2018 | -5.48 | 1.6 | 6 | 2.78 | 0.8 | 98 | -5.48 | 1.6 | 6 | 1.77 | 0.9 | 1 | | |
| 28.01.2019 | -6.89 | 0.8 | 6 | 2.18 | 0.7 | 98 | -6.89 | 0.8 | 6 | 1.93 | 0.6 | 1 | | |
| 19.03.2019 | -7.51 | 1.5 | 5 | 1.94 | 0.5 | 98 | -7.51 | 1.5 | 5 | 0.60 | 0.9 | 1 | | |

| NW_Ankle rechts Inversion | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|---------------------------------|---------|-----|---------------------------------|---------|-----|---------------------------------|---------|-----|---------------------------------|---------|-----|--|--|
| Date | Absolutes Minimum in Gangzyklus | | | Absolutes Maximum in Gangzyklus | | | Absolutes Minimum in Standphase | | | Absolutes Maximum in Standphase | | | | |
| | Mean [°] | Std [°] | %GC | Mean [°] | Std [°] | %GC | Mean [°] | Std [°] | %GC | Mean [°] | Std [°] | %GC | | |
| 20.11.2018 | -3.83 | 1.3 | 6 | 9.20 | 0.5 | 58 | -3.83 | 1.3 | 6 | 9.20 | 0.5 | 58 | | |
| 10.12.2018 | -4.14 | 1.1 | 6 | 9.93 | 0.9 | 57 | -4.14 | 1.1 | 6 | 9.93 | 0.9 | 57 | | |
| 20.12.2018 | 0.07 | 1.2 | 6 | 12.43 | 0.5 | 56 | 0.07 | 1.2 | 6 | 12.43 | 0.5 | 56 | | |
| 28.01.2019 | -6.69 | 2.2 | 6 | 7.44 | 2.0 | 56 | -6.69 | 2.2 | 6 | 7.44 | 2.0 | 56 | | |
| 19.03.2019 | -6.30 | 0.7 | 5 | 8.97 | 0.6 | 55 | -6.30 | 0.7 | 5 | 8.97 | 0.6 | 55 | | |

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 5: Differenz zwischen den einzelnen Messungen sowie der ersten und letzten Messung in der Frontalebene des Fussgelenkes

| NW_Ankle links Inversion | | | | | | | |
|--------------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|
| Differenz Min. (GZ) | Diff. Min. 1.u.5. (GZ) | Differenz Max. (GZ) | Diff. Max. 1.u.5. (GZ) | Differenz Min. (SP) | Diff. Min. 1.u.5. (SP) | Differenz Max. (SP) | Diff. Max. 1.u.5. (SP) |
| (*) | (*) | (*) | (*) | (*) | (*) | (*) | (*) |
| 1.59 | 1.32 | -0.93 | -3.17 | 1.59 | 1.32 | -0.93 | -4.51 |
| -2.29 | | -1.40 | | -2.29 | | -2.41 | |
| 1.40 | | -0.60 | | 1.40 | | 0.16 | |
| 0.62 | | -0.24 | | 0.62 | | -1.33 | |

| NW_Ankle rechts Inversion | | | | | | | |
|---------------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|
| Differenz Min. (GZ) | Diff. Min. 1.u.5. (GZ) | Differenz Max. (GZ) | Diff. Max. 1.u.5. (GZ) | Differenz Min. (SP) | Diff. Min. 1.u.5. (SP) | Differenz Max. (SP) | Diff. Max. 1.u.5. (SP) |
| (*) | (*) | (*) | (*) | (*) | (*) | (*) | (*) |
| 0.31 | 2.47 | 0.73 | -0.23 | 0.31 | 2.47 | 0.73 | -0.23 |
| -4.22 | | 2.50 | | -4.22 | | 2.50 | |
| 6.76 | | -4.99 | | 6.76 | | -4.99 | |
| -0.39 | | 1.53 | | -0.39 | | 1.53 | |

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 6: Vergleich des rechten und linken Fussgelenkes zu den verschiedenen Messzeitpunkten in der Frontalebene

| | Differenz Rechts und Links | | | | | | | |
|------------|---------------------------------|--------|-----------|-----------------------|---------------------------------|--------|-----------|------------------------|
| | Absolutes Minimum im Gangzyklus | | | | Absolutes Maximum in Gangzyklus | | | |
| | Links | Rechts | Differenz | Mehr Grad in Eversion | Links | Rechts | Differenz | Mehr Grad in Inversion |
| 20.11.2018 | -6.19 | -3.83 | 2.36 | links | 5.11 | 9.20 | 4.09 | rechts |
| 10.12.2018 | -7.77 | -4.14 | 3.63 | links | 4.18 | 9.93 | 5.75 | rechts |
| 20.12.2018 | -5.48 | 0.07 | 5.41 | links | 2.78 | 12.43 | 9.65 | rechts |
| 28.01.2019 | -6.89 | -6.69 | 0.20 | links | 2.18 | 7.44 | 5.26 | rechts |
| 19.03.2019 | -7.51 | -6.30 | 1.21 | links | 1.94 | 8.97 | 7.03 | rechts |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | Absolutes Minimum in Standphase | | | | Absolutes Maximum in Standphase | | | |
| | Links | Rechts | Differenz | Mehr Grad in Eversion | Links | Rechts | Differenz | Mehr Grad in Inversion |
| | 20.11.2018 | -6.19 | -3.83 | 2.36 | links | 5.11 | 9.20 | 4.09 |
| 10.12.2018 | -7.77 | -4.14 | 3.63 | links | 4.18 | 9.93 | 5.75 | rechts |
| 20.12.2018 | -5.48 | 0.07 | 5.41 | links | 1.77 | 12.43 | 10.66 | rechts |
| 28.01.2019 | -6.89 | -6.69 | 0.20 | links | 1.93 | 7.44 | 5.51 | rechts |
| 19.03.2019 | -7.51 | -6.30 | 1.21 | links | 0.60 | 8.97 | 8.37 | rechts |

Quelle: Eigene Darstellung

D Ergebnisse Sagittalebene Fussgelenk

Bei allen Werten in Tabelle 7, die positiv sind, spricht man von einer Dorsalextension und bei den negativen Zahlen von einer Plantarflexion im oberen Sprunggelenk.

Tabelle 7: Ergebnisse in der Sagittalebene des Fussgelenkes

| Date | NW_Ankle Links Dorsiflexion | | | | | | | | | | | |
|------------|---------------------------------|---------|-----|---------------------------------|---------|-----|---------------------------------|---------|-----|---------------------------------|---------|-----|
| | Absolutes Minimum in Gangzyklus | | | Absolutes Maximum in Gangzyklus | | | Absolutes Minimum in Standphase | | | Absolutes Maximum in Standphase | | |
| | Mean [°] | Std [°] | %GC | Mean [°] | Std [°] | %GC | Mean [°] | Std [°] | %GC | Mean [°] | Std [°] | %GC |
| 20.11.2018 | -11.43 | 1.0 | 9 | 22.66 | 0.7 | 56 | -11.43 | 1.0 | 9 | 22.66 | 0.7 | 56 |
| 10.12.2018 | -5.50 | 1.0 | 9 | 24.67 | 1.5 | 55 | -5.50 | 1.0 | 9 | 24.67 | 1.5 | 55 |
| 20.12.2018 | -7.52 | 0.5 | 9 | 22.91 | 0.9 | 54 | -7.52 | 0.5 | 9 | 22.91 | 0.9 | 54 |
| 28.01.2019 | -11.95 | 2.0 | 65 | 18.47 | 1.1 | 53 | -7.94 | 1.2 | 9 | 18.47 | 1.1 | 53 |
| 19.03.2019 | -13.57 | 1.9 | 65 | 18.74 | 0.7 | 52 | -8.04 | 1.2 | 8 | 18.74 | 0.7 | 52 |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| Date | NW_Ankle Rechts Dorsiflexion | | | | | | | | | | | |
| | Absolutes Minimum in Gangzyklus | | | Absolutes Maximum in Gangzyklus | | | Absolutes Minimum in Standphase | | | Absolutes Maximum in Standphase | | |
| | Mean [°] | Std [°] | %GC | Mean [°] | Std [°] | %GC | Mean [°] | Std [°] | %GC | Mean [°] | Std [°] | %GC |
| 20.11.2018 | -16.64 | 1.1 | 67 | 11.76 | 0.8 | 52 | -11.52 | 1.0 | 8 | 11.76 | 0.8 | 52 |
| 10.12.2018 | -18.17 | 1.8 | 66 | 11.68 | 0.7 | 51 | -11.48 | 0.5 | 8 | 11.68 | 0.7 | 51 |
| 20.12.2018 | -17.81 | 1.9 | 66 | 12.04 | 0.8 | 51 | -7.38 | 1.3 | 7 | 12.04 | 0.8 | 51 |
| 28.01.2019 | -21.26 | 2.8 | 66 | 12.40 | 1.3 | 51 | -10.52 | 1.9 | 7 | 12.40 | 1.3 | 51 |
| 19.03.2019 | -22.74 | 1.4 | 65 | 11.79 | 0.6 | 50 | -13.11 | 1.1 | 7 | 11.79 | 0.6 | 50 |

Quelle: Eigene Darstellung

E Ergebnisse Sagittalebene Kniegelenk

Bei allen Werten in Tabelle 10, die positiv sind, spricht man von einer Flexion und bei den negativen Zahlen von einer Extension im Kniegelenk.

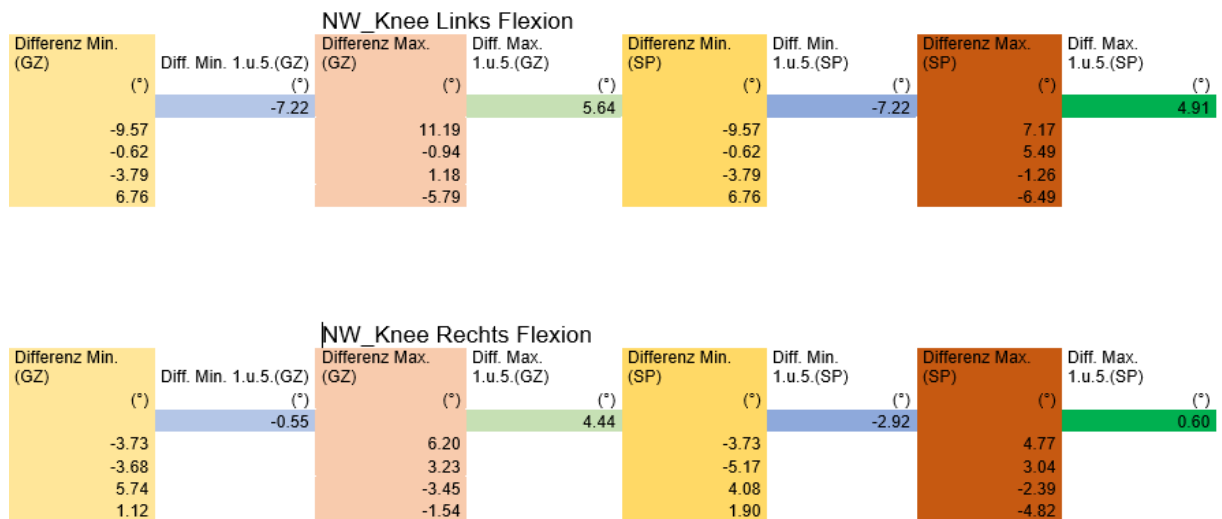
Tabelle 10: Ergebnisse in der Sagittalebene des Kniegelenkes

| NW_Knee Links Flexion | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---------------------------------|---------|-----|---------------------------------|---------|-----|---------------------------------|---------|-----|---------------------------------|---------|-----|--|--|
| Date | Absolutes Minimum in Gangzyklus | | | Absolutes Maximum in Gangzyklus | | | Absolutes Minimum in Standphase | | | Absolutes Maximum in Standphase | | | | |
| | Mean [°] | Std [°] | %GC | Mean [°] | Std [°] | %GC | Mean [°] | Std [°] | %GC | Mean [°] | Std [°] | %GC | | |
| 20.11.2018 | -10.74 | 0.6 | 45 | 60.91 | 1.4 | 77 | -10.74 | 0.6 | 45 | 33.45 | 1.2 | 61 | | |
| 10.12.2018 | -1.18 | 2.3 | 44 | 72.10 | 1.6 | 77 | -1.18 | 2.3 | 44 | 40.62 | 3.4 | 61 | | |
| 20.12.2018 | -0.56 | 2.6 | 42 | 71.16 | 1.1 | 75 | -0.56 | 2.6 | 42 | 46.11 | 2.8 | 61 | | |
| 28.01.2019 | 3.24 | 1.8 | 42 | 72.34 | 1.0 | 75 | 3.24 | 1.8 | 42 | 44.85 | 2.1 | 61 | | |
| 19.03.2019 | -3.52 | 1.0 | 41 | 66.55 | 0.7 | 75 | -3.52 | 1.0 | 41 | 38.36 | 1.6 | 61 | | |

| NW_Knee Rechts Flexion | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|---------------------------------|---------|-----|---------------------------------|---------|-----|---------------------------------|---------|-----|---------------------------------|---------|-----|--|--|
| Date | Absolutes Minimum in Gangzyklus | | | Absolutes Maximum in Gangzyklus | | | Absolutes Minimum in Standphase | | | Absolutes Maximum in Standphase | | | | |
| | Mean [°] | Std [°] | %GC | Mean [°] | Std [°] | %GC | Mean [°] | Std [°] | %GC | Mean [°] | Std [°] | %GC | | |
| 20.11.2018 | -1.06 | 1.4 | 47 | 61.78 | 0.7 | 75 | -1.06 | 1.4 | 47 | 30.65 | 1.0 | 14 | | |
| 10.12.2018 | 2.67 | 0.5 | 45 | 67.98 | 0.7 | 75 | 2.67 | 0.5 | 45 | 35.42 | 2.0 | 62 | | |
| 20.12.2018 | 6.35 | 1.1 | 98 | 71.21 | 1.2 | 75 | 7.83 | 2.0 | 42 | 38.46 | 3.8 | 61 | | |
| 28.01.2019 | 0.61 | 1.2 | 97 | 67.76 | 1.1 | 74 | 3.76 | 1.4 | 45 | 36.07 | 1.8 | 61 | | |
| 19.03.2019 | -0.51 | 0.9 | 96 | 66.22 | 0.8 | 73 | 1.85 | 1.2 | 44 | 31.25 | 2.4 | 60 | | |

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 11: Differenz zwischen den einzelnen Messungen sowie der ersten und letzten Messung in der Sagittalebene des Kniegelenkes



Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 12: Vergleich des rechten und linken Kniegelenkes zu den verschiedenen Messzeitpunkten in der Sagittalebene

| Differenz Rechts und Links | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------------------------------|--------|-----------|------------------------|---------------------------------|--------|-----------|----------------------|--|
| | Absolutes Minimum im Gangzyklus | | | | Absolutes Maximum im Gangzyklus | | | | |
| | Links | Rechts | Differenz | Mehr Grad in Extension | Links | Rechts | Differenz | Mehr Grad in Flexion | |
| 20.11.2018 | -10.74 | -1.06 | 9.68 | links | 60.91 | 61.78 | 0.87 | rechts | |
| 10.12.2018 | -1.18 | 2.67 | -3.84 | links | 72.10 | 67.98 | -4.12 | links | |
| 20.12.2018 | -0.56 | 6.35 | -6.90 | links | 71.16 | 71.21 | 0.05 | rechts | |
| 28.01.2019 | 3.24 | 0.61 | 2.63 | rechts | 72.34 | 67.76 | -4.58 | links | |
| 19.03.2019 | -3.52 | -0.51 | 3.01 | links | 66.55 | 66.22 | -0.33 | links | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Absolutes Minimum in Standphase | | | | | | | | | |
| | Absolutes Minimum in Standphase | | | | Absolutes Maximum in Standphase | | | | |
| | Links | Rechts | Differenz | Mehr Grad in Extension | Links | Rechts | Differenz | Mehr Grad in Flexion | |
| 20.11.2018 | -10.74 | -1.06 | -9.68 | links | 33.45 | 30.65 | 2.80 | links | |
| 10.12.2018 | -1.18 | 2.67 | -3.84 | links | 40.62 | 35.42 | 5.20 | links | |
| 20.12.2018 | -0.56 | 7.83 | -8.39 | links | 46.11 | 38.46 | 7.65 | links | |
| 28.01.2019 | 3.24 | 3.76 | -0.52 | links | 44.85 | 36.07 | 8.78 | links | |
| 19.03.2019 | -3.52 | 1.85 | -5.37 | links | 38.36 | 31.25 | 7.11 | links | |

Quelle: Eigene Darstellung

F Zeitplan

| | März 20 | Apr. 20 | Mai 20 | Jun. 20 | Jul. 20 | Aug. 20 | Sept. 20 | Okt. 20 | Nov. 20 | Dez. 20 | Jan. 21 | Feb. 21 | März 21 | Ap- ril 21 | Mai 21 | | |
|--|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|----------------------------------|------------|------------|------------------|-----------|----------------------------------|--|
| Definitive Themenwahl | | | | | | | | | | | KW 50 : Abgabe BA 1. Teil | | | | | KW 17 : Abgabe BA 2. Teil | |
| Literaturrecherche / Variable festlegen | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Disposition | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Evtl. Dispo überarbeiten | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Feedback Dispo, Besprechung weiteres vorgehen | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rohtexterstellen 1. Teil | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Festgelegte Variable mit Single-Case Study vergleichen | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inhaltliche Überarbeitung | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gegenlesen lassen | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Layout gestalten | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Schlusskorrekturen | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Datenanalyse der Singe-Case Study | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rohtexterstellen 2. Teil | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inhaltliche Überarbeitung | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gegenlesen lassen | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Layout gestalten | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Schlusskorrekturen | | | | | | | | | | | | | | | | | |